

dr inż. Ryszard Machnik¹, dr hab. inż. Marek Nocuń, prof. AGH².

AGH University of Science and Technology
Mickiewicza 30, 30-059 Cracow, Poland

¹Faculty of Mechanical Engineering and Robotics

²Faculty of Materials Science and Ceramics

E-mail: machnik@agh.edu.pl, nocun@agh.edu.pl

Wpływ powłok antykorozyjnych elektrod ulotowych na wybrane parametry eksploatacyjne elektrofiltrów przemysłowych.

Słowa kluczowe: powłoki antykorozyjne; elektrofiltr; elektrody ulotowe

Streszczenie: Problem ochrony antykorozyjnej ma istotne znaczenie w okresie budowy lub modernizacji urządzeń odpylających stosowanych w przemyśle energetycznym. Wielomiesięczny okres budowy elektrofiltru oraz okres czasu upływający od zakończeniu montażu do momentu uruchomienia instalacji odpylającej powoduje nieuniknioną korozję jego elementów. Istotny wpływ na elektryczne parametry eksploatacyjne elektrofiltru ma, występujące w tym okresie, zjawisko korozji jego elementów emisyjnych – elektrod ulotowych. Producenci elektrofiltrów nie stosują ochrony antykorozyjnej elektrod ulotowych w obawie przed pogorszeniem emisyjności elektrod. W artykule przedstawiono wyniki badań emisyjności elektrod ulotowych bez zabezpieczeń oraz zabezpieczonych powłokami antykorozyjnymi, dla elektrody prętowej oraz wybranej elektrody przemysłowej typu masztowego. Analizę wyników przeprowadzono z zastosowaniem metod statystycznych opartych na modelu szeregów czasowych. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie wykazały, że stosowanie powłok antykorozyjnych nie pogarsza parametrów elektrycznych elektrod ulotowych. Ochrona antykorozyjna może być stosowana zarówno podczas prac modernizacyjnych elektrofiltrów, jak i na etapie budowy nowych urządzeń.

1. Wstęp

Elektrostatyczne metody oczyszczania gazów powstających w procesie spalania paliw energetycznych są do chwili obecnej jedyną ekonomicznie uzasadnioną metodą ochrony powietrza stosowaną przez producentów energii. Głównym elementem linii odpylania zapylnych spalin powstających w wyniku spalania paliwa w kotle energetycznym jest elektrofiltr (ESP). Elektrofiltry są urządzeniami wielkogabarytowymi. Objętość komory obecnie stosowanych elektrofiltrów przemysłowych może wynosić do 40 tys. m³, przy łącznej powierzchni roboczej elektrod zbiorczych dochodzącej do 160 tys. m² i liczbie elektrod emisyjnych sięgającej 14 tysięcy.

Elektrofiltry są urządzeniami jednostkowymi, zaprojektowanymi do oczyszczania gazów spalinowych emitowanych przez konkretny kocioł energetyczny. Typ paliwa oraz jego własności fizykochemiczne są ściśle ustalone na etapie wykonywania projektu zarówno kotła energetycznego, jak i współpracującej z nim instalacji odpylającej. Realizacja inwestycji, takiego typu jak linia odpylania spalin trwa z reguły wiele miesięcy, zaś od momentu zakończenia jej budowy do rozpoczęcia eksploatacji mija kolejnych kilka miesięcy. Powodem tego jest konieczność wykonania przez dostawcę elektrofiltru licznych badań gotowego urządzenia, wymaganych przez inwestora. Badania te wykonywane przez producenta obejmują zarówno określenie parametrów elektrycznych, rozkład prędkości przepływu gazów spalinowych w wybranych przekrojach elektrofiltru, jak i obejmują zagadnienia związane z bezpieczeństwem obsługi. Tak długi okres czasu, kiedy elektrofiltr nie jest eksploatowany jest powodem korozji jego elementów konstrukcyjnych. Istotne znaczenia ma zjawisko korozji elektrod ulotowych, od których zależą podstawowe parametry eksploatacyjne

elektrofiltru – napięcie początkowe ulotu oraz gęstość prądu na powierzchniach elektrod zbiorczych.

W obecnie budowanych elektrofiltrach elektrody ulotowe wykonuje się ze stali konstrukcyjnych ogólnego zastosowania. Zastosowanie stali o podwyższonej odporności na korozję nie jest możliwe ze względów ekonomicznych. Pomimo problemów wynikających ze zjawiska korozji elektrod ulotowych, producenci elektrofiltrów nie stosują ich zabezpieczenia w postaci powłok lakierów zawierających wypełniacz o działaniu antykorozyjnym. Wynika to z obawy przed niebezpieczeństwem zakłócenia funkcjonowania elektrofiltru na skutek zmiany parametrów elektrycznych elektrod pokrytych wysokorezystywną powłoką. Przeprowadzone badania miały na celu wyjaśnienie jak zabezpieczenie powłokami antykorozyjnymi elektrod ulotowych na etapie ich produkcji wpływa na ich parametry elektryczne. W konsekwencji miały one na celu rozstrzygnięcie czy wpływ ochrony antykorozyjnej jest na tyle niekorzystny, że uniemożliwia jej stosowanie.

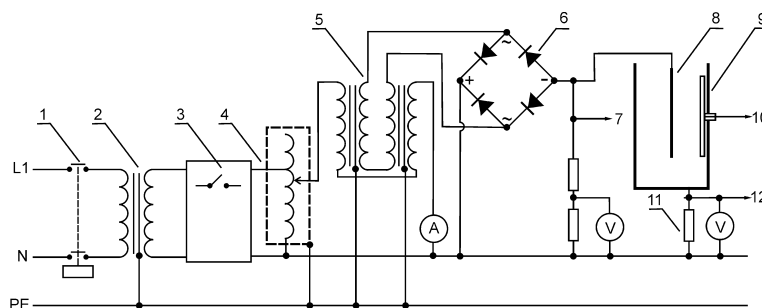
2. Metodyka badań

Istotnymi parametrami elektrycznymi charakteryzującymi elektrody ulotowe są [4,15,16]:

- charakterystyka prądowo–napięciowa oraz określone na jej podstawie napięcie początkowe ulotu,
- gęstość prądu na powierzchni elektrody zbiorczej

Pierwszy z parametrów świadczy o emisyjność elektrody – gęstości pola elektrycznego w pobliżu elementów emisyjnych, wpływającej na czas uzyskiwania przez ziarna pyłu ładunku umożliwiającego ich migrację i osadzanie się na elektrodzie zbiorczej [10]. Drugi parametr wpływa na własności mechaniczne warstwy osadzonego pyłu na powierzchni elektrody zbiorczej. Na przebieg charakterystyki prądowo-napięciowej elektrody ulotowej oraz wartość gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej mają wpływ emisyjność elektrody oraz konduktancja medium (układu gaz-pył) obecnego w przestrzeni międzyelektrodowej [18]. W procesie eksploatacji elektrofiltru napięcie zasilania elektrod ulotowych oraz tryb pracy zasilaczy wysokiego napięcia ustala się na takim poziomie, aby zapobiec zjawisku migracji ziaren pyłu oderwanych od powierzchni elektrody zbiorczej do dalszych stref elektrofiltru.

Zbudowane przez autorów stanowisko do badań parametrów elektrycznych elektrod ulotowych (rys. 1) w zależności od jego konfiguracji umożliwia wyznaczanie charakterystyki prądowo–napięciowej lub gęstość prądu na powierzchni elektrody zbiorczej.



Rys.1 Schemat stanowiska do badań parametrów elektrod ulotowych

1– włącznik obwodów zasilania, 2– transformator separujący, 3– obwody zabezpieczenia nadprądowego, 4–obwód regulacji WN, 5– zespół transformatorów WN, 6– zespół prostownika WN, 7– do obwodu pomiaru WN, 8– elektroda ulotowa, 9– elektroda zbiorcza, 10– obwód pomiaru prądu (gęstość prądu na powierzchni elektrody zbiorczej), 11– rezystor dekadowy, 12– obwód pomiaru prądu (charakterystyka I-U)

Stanowisko pomiarowe o wysokości czynnej elektrod zbiorczych $h = 1,0$ m, o maksymalnej podziałce międzyelektrodowej elektrod zbiorczych $H = 0,6$ m, umożliwia badania przemysłowych elektrod ulotowych o długości do 0,8 m. Stanowisko to składa się z ram nośnych, do których zamocowane są elektrody zbiorcze o sumarycznej powierzchni 4 m^2 . Badana elektroda ulotowa (8) jest mocowana do izolowanej wewnętrznej ramy nośnej zasilanej prądem stałym z zasilacza wysokiego napięcia (6). Zasilacz umożliwia płynną regulację napięcia w zakresie od 0 do 75 kV. Elektrody zbiorcze (9) połączone są z masą układu zasilania poprzez rezystor dekadowy (11) o tolerancji wykonania rezystorów 0,05%. Pomiar napięcia występującego na tym rezystorze oraz pomiar napięcia zasilania elektrody ulotowej umożliwia wyznaczenie jej charakterystyki prądowo-napięciowej.

Podczas pomiarów mających na celu wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej badanej elektrody ulotowej, sygnały napięciowe obwodów pomiaru napięcia zasilania (7) elektrody ulotowej oraz prądu płynącego pomiędzy elektrodami zbiorczymi a masą obwodu (12) są podawane na wejścia analogowe 16-bitowej karty pomiarowej NI-USB 6039 połączonej z komputerem. System akwizycji danych jest realizowany przez specjalnie opracowane w tym celu oprogramowanie w języku LabView. Pomiar prowadzony jest dla napięć zasilania elektrody ulotowej w zakresie od 0 do 65 kV. Dla każdego z punktów pomiarowych mierzonych z krokiem $\Delta U = 500 \text{ V}$, karta pracująca z szybkością próbkowania 2kS/s rejestruje, uśrednioną wartość mierzonych napięć. Zarejestrowane dane zapisywane są do plików w celu poddania ich dalszej analizie.

Pomiar rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej realizowany jest za pomocą 16 pól pomiarowych rozmieszczonych na długości elektrody zbiorczej (wzdłuż osi x) ze stałym odstępem $\Delta x = 0,05 \text{ m}$. Ze względu na relatywnie niską wartość prądu płynącego pomiędzy polami pomiarowymi (10) a masą układu, sygnały z nich podawane są poprzez multiplexer 1 z 16 do zaprojektowanego dla potrzeb tego pomiaru wysokostabilnego wzmacniacza pomiarowego zrealizowanego na układzie INA 114 firmy Burr-Brown. Wzmocniony sygnał napięciowy rejestrowany jest poprzez kartę pomiarową NI-USB 6039 za pomocą komputera. Specjalnie w tym celu opracowane oprogramowanie umożliwia akwizycję danych oraz sterowanie pracą multiplexera. Rejestrowana wartość napięcia uzyskiwana jest poprzez uśrednienie 2000 pomiarów dla każdego z pól pomiarowych. Dane pomiarowe rejestrowane są w cyklu 5 pomiarów, co oznacza, że wartość prądu odpowiadająca wartości prądu płynącego przez każde z pól pomiarowych jest wartością średnią z 10 tys. pomiarów. Tak wysoką liczbę pomiarów przyjęto w celu zminimalizowania wpływu składowej zmiennej zasilacza WN. Dane pomiarowe zapisywane są w postaci plików ASCII w celu umożliwienia ich dalszej analizy.

Badaniom poddano 5 elektrod walcowych, w postaci prętów o średnicy $\varnothing = 6 \text{ mm}$ wykonanych ze stali S275 oraz 4 elektrody masztowe. Maszt nośny elektrod masztowych, na których przeprowadzono badania, stanowi rura stalowa o średnicy $\varnothing = 10 \text{ mm}$, do której w równych odstępach zostały przyspawane elementy emisyjne wykonane ze stalowej taśmy. Istotą konstrukcji elektrod tego typu jest obecność ostrz o małym promieniu krzywizny będących źródłem ulotu. Różni producenci elektrofiltrów stosują podobne rozwiązania konstrukcyjne elektrod, przy czym zmianom ulegają średnice masztów nośnych oraz kształt elementów emisyjnych (np. gwoździowe, elementy w kształcie litery Δ lub U wykonane z drutu o średnicach od 3 do 5 mm). Geometrię ostrz dobiera się w zależności wymaganej emisyjności elektrody [11]. Przykładowy widok elektrody masztowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Elektroda ulotowa typu masztowego

Charakterystyki napięciowo-prądowe oraz rozkład gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej przeprowadzono dla elektrod bez ochrony antykorozyjnej oraz z powłokami antykorozyjnymi o grubości od 50 do 65 μm , naniesionymi metodą natryskową. Badania przeprowadzono dla 3 preparatów antykorozyjnych: Unikor C zawierający jako wypełniacz ditlenek żelaza (III), polidispersji wodorozcieńczalnej żywicy akrylowej z wypełniaczem organicznym oraz lakieru poliuretanowego bez wypełniacza. Pomiary wykonano w następujących warunkach: temperatura $t = 22^\circ\text{C}$, wilgotność względna powietrza $w = 53\%$, ciśnienie atm. $p = 987,9 \text{ hPa}$.

3. Metodyka analizy statystycznej rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej

Analiza wyników rejestrowanych wartości prądu płynącego w przestrzeni międzyelektrodowej elektrofiltru jest trudna ze względu na możliwość odstępstw od klasycznych założeń normalności rozkładu zbiorowości wyników, jak i braku skorelowania wyników próby losowej. Z tego względu do analizy badanego zjawiska zastosowano metodologię badań statystycznych zjawisk o tej specyfice uwarunkowań, należąca do grupy nieklasycznych metod statystycznych [8]. Do analizy zjawiska rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej zastosowano metodę opartą na formalizmie modelowym szeregów czasowych [3]. Metoda ta, stosowana do analizy zjawisk z dziedziny akustyki [7,13], znajduje coraz częściej zastosowanie w innych dziedzinach nauki m.in. genetyce [5,6]. W procesie modelowania dane pomiarowe $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ są szeregiem czasowym losowych wartości zmiennej X reprezentujących kolejne obserwacje $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ opisujące gęstość prądu na powierzchni elektrody zbiorczej. Przyjęto, że probabilistyczna struktura wyników pomiarów jest być kształtowana mechanizmem:

$$X_t = \mu_t + \varphi_t + \zeta_t ; t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Założono, że strukturę analizowanego zjawiska kształtują: trend μ_t związany z tendencją wymuszającą poziom analizowanych wartości, składnik cykliczny φ_t odpowiadający okresowo powtarzającym się zmianom oraz składnik resztkowy ζ_t , spełniający warunki rozkładu normalnego szum, wynikający z przypadkowych zakłóceń. Klasyczny model losowej próby kontrolnej zakłada spełnienie warunków rozkładu normalnego przez kolejne obserwacje. Zastosowany do analizy zjawiska model różni się od modelu klasycznego założeniem obecność pewnego mechanizmu wymuszającego zmiany wyników, poddanego przypadkowym zaburzeniom spełniającym warunki rozkładu normalnego o zerowej wartości oczekiwanej i wariancji σ_ζ^2 . W takim przypadku problem estymacyjny wartości oczekiwanej i wariancji analizowanych danych pomiarowych sprowadza się do identyfikacji struktury szeregu czasowego.

Analizę rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej przeprowadzono opracowanym przez autorów programem z wykorzystaniem zaawansowanych funkcji statystycznych TSA (Time Series Analysis). Program ten umożliwia, po wstępnym przetworzeniu danych pomiarowych (resampling, wygładzenie), wyznaczenie dla analizowanego przebiegu:

– wartości średniej $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} X_t(i)$ z eliminacją wartości ekstremalnych

gdzie: μ - średnia arytmetyczna, n – liczba elementów szeregu czasowego X_t ,

– wartości średniokwadratowej RMS $\psi = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|^2}$

- gdzie: ψ_x – wartość RMS, n – liczba elementów zbioru X ,
- magnitudy widma mocy FFT gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej (w postaci wartości kwadratów RMS),
 - gęstość widmową mocy FFT szeregu czasowego X_t .
(w postaci wartości kwadratów RMS/jednostkę osi x elektrody zbiorczej).

Widmowa gęstość mocy opisuje częstotliwościowy rozkład mocy zarejestrowanego sygnału (lub szeregu czasowego), przy czym moc można zdefiniować jako $P(t) = f(t)^2$ dla sygnału $f(t)$. Średnia (lub oczekiwana) wartość $P(t)$ stanowi sumę gęstości widmowej mocy obliczonych dla wszystkich częstotliwości. Stosując transformację Fouriera:

$$\hat{f}_T(\omega) = \frac{1}{\sqrt{T}} \int_0^T f(t) \exp(-i\omega t) dt \quad (2)$$

gdzie:

- $\hat{f}_T(\omega)$ – transformata Fouriera w dziedzinie częstości,
- ω – częstość kołowa ($2\pi f$),
- i – jednostka urojona ($i^2 = -1$),

widmową gęstość mocy można zdefiniować jako [1,2]:

$$PSD(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\left| \hat{f}_T(\omega) \right|^2 \right] \quad (3)$$

gdzie:

- $PSD(\omega)$ – gęstość widmowa mocy,
- E – wartość oczekiwana zmiennej losowej.

Alternatywnie, zakładając stacjonarny charakter badanego zjawiska, zgodnie z twierdzeniem Wienera-Chinczyna, widmowa gęstość mocy takiego procesu jest transformatą Fouriera funkcji autokorelacji $R(\tau) = \langle f(t) \cdot f(t + \tau) \rangle$ [15]:

$$PSD(f) = \hat{f}_T(R(\tau)) \quad (4)$$

gdzie:

- $R(\tau)$ – funkcja autokorelacji,
- τ – czas opóźnienia sygnału.

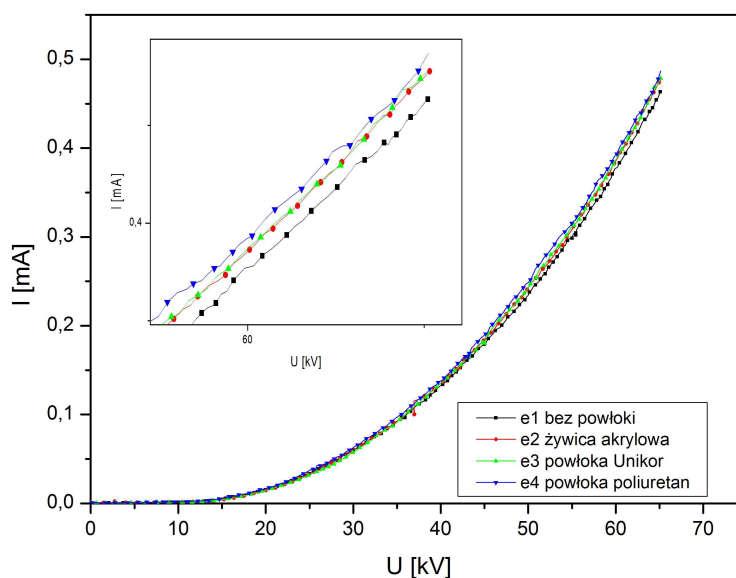
Procedury obliczeń widma mocy oraz gęstości widmowej mocy zawarte są w bibliotekach funkcji LabView. Do opracowania wyników pomiarów parametrów elektrycznych elektrod wykorzystano narzędzia do analizy szeregów czasowych dostępne w module Advanced Signal Processing – Time Series Analysis Tools tego programu [14].

Badane elektrody spełniają warunek podobieństwa pod względem cech geometrycznych oraz materiałowych [9,12]. Stanowią one obiekty, których właściwości można określić poprzez porównanie magnitud: widma mocy oraz widmowej gęstości mocy gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej nie analizując głębiej czynników wpływających na przebieg analizowanego zjawiska. Zastosowanie statystycznych metod analizy szeregów czasowych powoduje uproszczenie opracowania wyników uzyskanych poprzez pomiar parametrów elektrycznych badanych elektrod. Umożliwi to budowę modeli

matematycznych zjawisk zachodzących w przestrzeni międzyelektrodowej elektrofiltru, które można będzie wykorzystać w celach użytkowych.

4. Wyniki badań

Na podstawie zarejestrowanych danych, dla każdej z badanych elektrod, wyznaczono jej charakterystykę prądowo-napięciową, a następnie na jej podstawie określono początkowe napięcia ulotu [4,16]. Wyniki badań dla elektrod masztowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyki prądowo-napięciowe ostrzowych elektrod ulotowych typu masztowego

Wyznaczone na podstawie charakterystyk prądowo-napięciowych, początkowe napięcie ulotu elektrody bez powłoki oraz z powłokami antykorozyjnymi zamieszczono w tabeli 1.

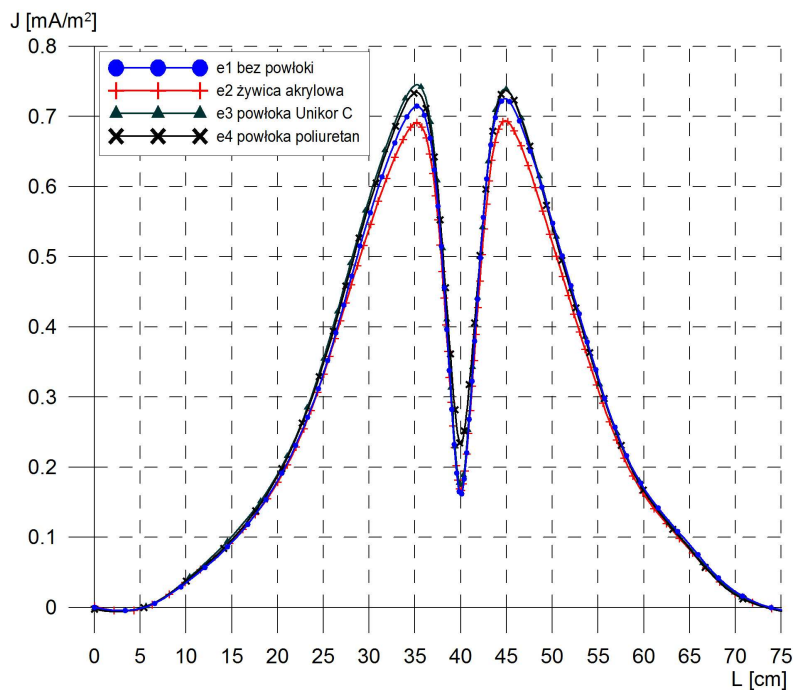
Uzyskane wyniki stanowią potwierdzenie, że napięcie początkowe ulotu oraz charakterystyka napięciowo-prądowa elektrod ulotowych wykonanych ze stali, wynika z ich parametrów geometrycznych, a obecność powłoki antykorozyjnej nie wpływa na ich parametry elektryczne.

Tabela 1. Początkowe napięcie ulotu ostrzowych elektrod typu masztowego

Rodzaj powłoki antykorozyjnej	Napięcie początkowe ulotu [kV]	
	elektroda masztowa	elektroda walcowa $\varnothing=6$ mm
bez powłoki	17,0	48,0
żywica akrylowa	16,8	51,4
Unikor C	17,4	48,0
poliuretan	17,0	48,0

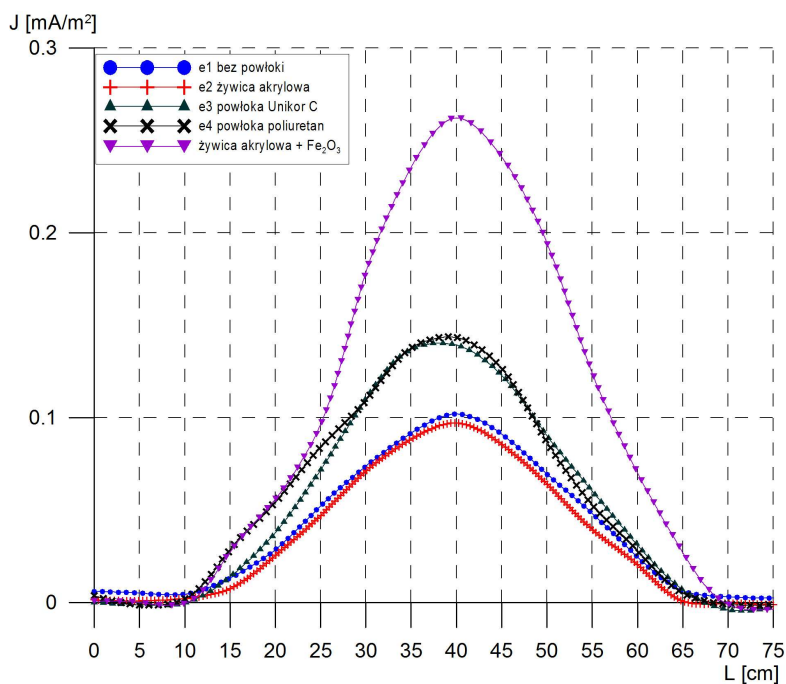
Wyniki pomiarów rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej dla elektrody masztowej bez powłoki antykorozyjnej oraz z naniesionymi powłokami przedstawiono na rys. 4.

Wyniki analogicznych pomiarów dla elektrod typu walcowego (pręt o średnicy $\varnothing = 6$ mm), przedstawiono na rysunku 5. W przypadku tych elektrod różnice gęstości prądu w zależności od obecności oraz typu powłoki antykorozyjnej są znacznie bardziej widoczne niż w przypadku elektrod ostrzowych.



Rys. 4. Rozkład gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej dla ostrzowych elektrod ulotowych typu masztowego

Wpływ obecności w powłoce wypełniacza w postaci ditlenku żelaza (III) na parametry elektryczne elektrody ulotowej, potwierdzono wprowadzając do preparatu antykorozyjnego wodorocieńczalnego, 15% wag. tego związku. Wyniki pomiarów potwierdziły, że obecność ditlenku żelaza (III) w powłoce naniesionej na powierzchnię elektrody ulotowej znacząco zmienia jej parametry elektryczne, poprzez zwiększenie jej emisyjności.



Rys. 5. Rozkład gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej dla elektrod ulotowych typu walcowego

W tabeli 2. przedstawiono zbiorcze wyniki analizy statystycznej wyznaczone z zastosowaniem modelu TSA.

Tabela 2. Wyniki analizy statystycznej rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej

Typ elektrody	Rodzaj powłoki antykorozyjnej	Wartość średnia	Wartość średniokwadratowa (RMS)	Magnituda	
				widma mocy (PS)	widmowej gęstości mocy (PSD)
masztowa	bez powłoki	0,2047	0,3469	0,3440	16,949
masztowa	żywica akrylowa	0,1990	0,3343	0,3208	15,8545
masztowa	Unikor C	0,2106	0,3568	0,3652	18,057
masztowa	poliuretan	0,2136	0,3561	0,3722	18,667
walcowa Ø = 6 mm	bez powłoki	0,0341	0,0525	0,0090	0,46689
walcowa Ø = 6 mm	żywica akrylowa	0,0295	0,0491	0,0080	0,4210
walcowa Ø = 6 mm	Unikor C	0,0441	0,0728	0,0176	0,9183
walcowa Ø = 6 mm	poliuretan	0,0471	0,0746	0,0182	0,9427
walcowa Ø = 6 mm	żywica akrylowa + 15% Fe ₂ O ₃	0,0817	0,1338	0,0596	3,0957

Przedstawione wyniki badań wykazują, że zastosowanie preparatów z wypełniaczem w postaci ditlenku żelaza (III), nie tylko nie pogarsza emisyjności elektrod ulotowych zabezpieczonych przed korozją tego typu preparatami, lecz powoduje jej wzrost. Można przypuszczać, że wynika to z własności fizykochemicznych tego związku, lecz przyczyna tego zjawiska nie została określona. Odmienny mechanizm występuje w przypadku elektrod prętowych zabezpieczonych powłoką polimerową (żywica poliuretanowa). Intensywność ulotu elektrod walcowych jest zależna od promienia krzywizny elektrody. Należy sądzić, że cienka powłoka (~ 50 µm), naniesiona metodą natryskową wykazuje lokalne nieciągłości, lub obszary o niższej grubości warstwy, będące źródłem ulotu. Powoduje to zwiększenie emisyjności elektrody prętowej tak jak w przypadku elektrod ostrzowych, posiadających ostrza o małym promieniu krzywizny. Za taką interpretacją przemawiają własności elektryczne polimerów poliuretanowych tj. wysoka wartość ich rezystancji skrośnej [19].

5. Wnioski

Uzyskane wyniki badań emisyjności elektrod ulotowych stosowanych w elektrofiltrach wykazały, że stosowanie preparatów antykorozyjnych nie ma niekorzystnego wpływu na ich parametry elektryczne. Obecność powłoki antykorozyjnej nie wpływa na charakterystykę prądowo-napięciową badanych elektrod ulotowych. Analiza wyników rozkładu gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej metodą TSA wskazuje, że ochrona antykorozyjna w postaci powłok naniesionych na powierzchnie elektrod ulotowych nie powoduje spadku gęstości prądu na powierzchni elektrody zbiorczej. Przeprowadzone badania wykazały, że preparaty antykorozyjne z wypełniaczem w postaci ditlenku żelaza (III), powszechnie stosowane ze względu na ich niską cenę wpływają korzystnie na parametry elektryczne elektrody ulotowej. Stanowi to odpowiedź na wątpliwości producentów elektrofiltrów, czy ochrona antykorozyjna, zastosowana na etapie

montażu, nie wpłynie negatywnie na parametry eksploatacyjne urządzenia odpylającego. Przeprowadzone badania wykazały, że na etapie montażu elektrofiltru, przed jego oddaniem do eksploatacji, można stosować ochronę antykorozyjną elektrod ulotowych. Wyniki badań wykazały, że do zabezpieczenia elektrod ulotowych przed korozją szczególnie korzystne jest stosowanie preparatów antykorozyjnych zawierających jako wypełniacz ditlenek żelaza (III).

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki grant nr 7041/B/T02/2011/40

Literatura

1. Aboutanios E, Mulgrew B. Iterative frequency estimation by interpolation on Fourier coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2005; 53: 1237–1242.
2. Abramowitz M, Stegun I A, eds. *Handbook of Mathematical Functions*, New York, Dover, 1965.
3. Box G E P, Jenkins G M. *Time Series Analysis*. San Francisco: Holden Day, 1976.
4. Böhm J *Electrostatic precipitators*. Elsevier, *Chemical Engineering Monographs*, 1982.
5. Ceccarelli M, Maratea A. Virtual genetic coding and time series analysis for alternative splicing prediction in *C. elegans*. Elsevier, *Artificial Intelligence in Medicine*, 2009; 45: 109–115.
6. Chen-Hsiang Yeang, Jaakkola T. Time Series Analysis of Gene Expression and Location Data. *IEEE International Symposium on BioInformatics and BioEngineering*, IEEE Computer Society 2003: 305–312.
7. Deller Jr. J R, Hansen J H L, Proakis J G. *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 2001.
8. Domański C, Pruska K. *Nieklasyczne metody statystyczne*. PWE, Warszawa 2000.
9. Jech T. *Set Theory*. Springer Monographs in Mathematics, Berlin, New York: Springer-Verlag, 2003.
10. Jędrusik M, Świerczok A. The correlation between corona current distribution and collection of fine particles in a laboratory-scale electrostatic precipitator. *Journal of Electrostatics* 2013; 71, 3: 199-203.
11. Jędrusik M, Świerczok A, Teisseyre R. Experimental study of fly ash precipitation in a model electrostatic precipitator with discharge electrodes of different design. *Powder Technology* 2003; 135/136: 295-301.
12. Levy A. *Basic Set Theory*. Berlin, New York: Springer-Verlag, 1979.
13. Mueller M, Ellis D P W, Klapuri A, Richard G. Signal processing for music analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing* 2011; 5: 1088–1110.

14. National Instruments LabView Advanced Signal Processing, Time Series Analysis Tools User Manual 2005.
15. Parker K R. Applied Electrostatic precipitation. Blackie Academic & Profesional, London, 1997.
16. Parker K. Electrical operation of electrostatic precipitators. The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
17. Ricker D W. Echo Signal Processing. Berlin, New York: Springer-Verlag, 2003.
18. Thomson J J. Conduction of Electricity through Gases, Cambridge University Press, New York, 1945.
19. Yasar Razzaq M, Anhalt M, Frommann L, Weidenfeller B. Thermal, electrical and magnetic studies of magnetite filled polyurethane shape memory polymers. Elsevier, Materials Science and Engineering 2007: 227–235.