

Pomiary ładunków elektrostatycznych generowanych przez pneumatyczny odciąg pyłów drzewnych

Stefan Wolny

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej

W artykule przedstawiono wyniki badań rozkładu pola elektrostatycznego generowanego na skutek elektryzowania się wiórów oraz pyłów drzewnych podczas ich pneumatycznego transportu. Analizę badań oparto na wynikach pomiarów eksperymentalnych wykonanych w warunkach eksploatacyjnych, przeprowadzonych na pracującym odciągu stanowiskowym wyposażonym w worek filtracyjny. Dokonano porównania stopnia zagrożenia związanego z gromadzeniem się ładunków elektrostatycznych dla trzech rodzajów materiałów worków filtracyjnych oraz dwóch typów węży ssących. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analiz ostatecznie sformułowano wnioski i zalecenia dla konstruktorów tego typu urządzeń, celem ograniczenia zagrożeń związanych z generowaniem oraz gromadzeniem się ładunków elektrostatycznych, mogących być przyczyną wybuchów pyłów drzewnych.

Słowa kluczowe: elektrostatyka, elektryzacja pyłów, pył drzewny

Elektryczność statyczna w klasyfikacji potencjalnych źródeł zapłonu materiałów palnych oraz mieszanin wybuchowych zajmuje trzecie miejsce [1, 2]. Pierwsze miejsca zajmują odpowiednio gorące powierzchnie oraz iskry i łuki elektryczne. Ogólnie można stwierdzić, że elektryczność statyczna to zespół zjawisk, jakie towarzyszą gromadzeniu się nie zrównoważonego ładunku elektrycznego na ciałach o niskiej przewodności elektrycznej (tzn. dielektrykach) lub na odizolowanych od ziemi obiektach przewodzących (np. na różnego typu elementach urządzeń czy ciele człowieka). Elektryzacja natomiast to wytwarzanie na danym materiale, poddanym oddziaływaniu pola elektrostatycznego, nadmiaru ładunków elektrycznych jednego znaku. Zjawisko powstaje najczęściej na skutek zetknięcia lub zbliżenia i następnie rozdzielania dwóch nienaektryzowanych ciał. W przemyśle warunkom wystąpienia zjawiska elektryzacji sprzyja praktycznie wszelki transport ciał (np. procesy przepompowywania, rozdrabniania, przesypywania, toczenia itp.) oraz proces ich mieszania [3]. Ponadto elektryzacja inicjować mogą zjawiska towarzyszące, jak np. jonizacja, efekt piezoelektryczny, procesy elektrochemiczne czy zmiany stanu skupienia. Elektryzować się mogą zarówno ciała stałe, jak i gazy czy ciecze [4, 5].

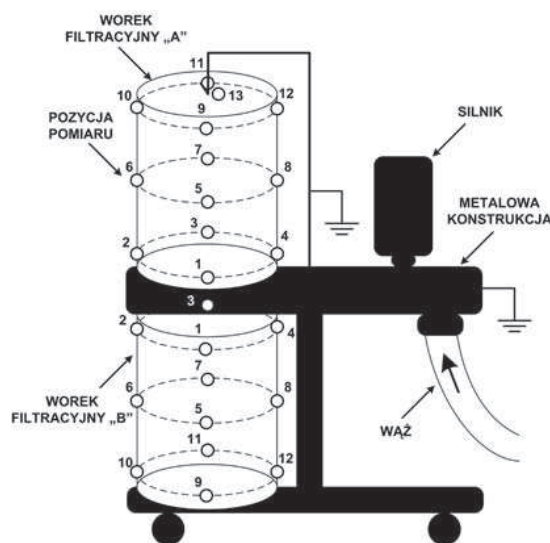
Odpowiednio duże wartości natężenia pola elektrycznego (np. ok. 2000 kV/m dla powietrza w warunkach normalnych), inicjować mogą wyładowania elektrostatyczne niezupełne (ulotowe lub snopiaste) oraz zupełne (iskrowe), oczywiście jeżeli naładowany materiał zbliży się do uziemionego

elementu. Wyładowania elektrostatyczne dzieli się przy tym na międzyelektrodowe, bezelektrodowe (podczas rozdzielania dwóch materiałów dielektrycznych), piorunopodobne (występujące w chmurze naelektryzowanego pyłu) oraz elektroda-dielektryk. Energia związana z takimi wyładowaniami może wynosić nawet setki mJ. W przypadku analizowanego w artykule zagrożenia wybuchem pyłu drzewnego, minimalna energia jego zapłonu w powietrzu wynosi 40 mJ [6].

Badany obiekt oraz oznaczenia i lokalizacja pomiarów

Badanym obiektem był stanowiskowy odciąg wiórów i pyłów zainstalowany w miejscu jego normalnej eksploatacji. Pomiary przeprowadzono w warunkach normalnej pracy urzą-

żenia, tzn. podczas odciągania wiórów i pyłu drzewnego generowanych przez proces produkcji. Na rys. 1 przedstawiono szkic urządzenia wraz z zaznaczeniem miejsc, w których dokonywano pomiaru pola oraz potencjału elektrostatycznego na workach filtracyjnych. Górny worek filtracyjny oznaczono literą „A”, dolny zaś literą „B”. Dla worka „A” wyznaczono trzynaście miejsc pomiaru pola oraz potencjału elektrostatycznego, natomiast dla worka „B” dwanaście takich miejsc. Uzyskano tym samym możliwość graficznego przedstawienia rozkładu natężenia pola oraz potencjału praktycznie na całej powierzchni czynnej badanych worków filtracyjnych.



Rys. 1. Szkic badanego urządzenia wraz z lokalizacją miejsc pomiaru natężenia pola oraz potencjału elektrostatycznego worków filtracyjnych

Fig. 1. Outline of the equipment tested with location of the field intensity and electrostatic potential measurement places of the filtering bags

Do badania stopnia elektryzacji powierzchni węzów ssących wyznaczono trzy miejsca pomiaru natężenia pola elektrostatycznego: początek węża (bezpośrednio przy wlocie zasysanych wiórów i pyłów), środek całkowitej długości węża oraz jego koniec (bezpośrednio przy króćcu ssącym urządzenia).

Badaniom stopnia elektryzowania się poddano trzy rodzaje filtrów workowych. Sposób oznakowania oraz miejsce ich zainstalowania podczas wykonywania badań przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Rodzaje filtrów workowych poddane badaniom

Tab. 1. Types of filtering bags tested

Lp.	Oznaczenie worka filtracyjnego	Materiał	Miejsce zainstalowania
1	WF-I	włóknina poliestrowa	worek filtracyjny „A”
2	WF-II	bawełna	worek filtracyjny „B”
3	WF-III	włóknina poliestrowa (wykonanie antyelektrostatyczne)	worek filtracyjny „A”

Badaniom stopnia elektryzowania się poddano również dwa rodzaje węzów ssących. Sposób ich oznakowania przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Rodzaje węzów ssących poddane badaniom

Tab. 2. Types of suction hoses tested

Lp.	Oznaczenie węża ssącego	Materiał
1	WS-I	PCV
2	WS-II	poliuretan (wykonanie antyelektrostatyczne)

Sposób przeprowadzania pomiarów elektryzacji

Badania elektryzacji worków filtracyjnych

Postanowiono do badań stopnia elektryzowania się powierzchni worków filtracyjnych zastosować dwie niezależne metody. Pierwsza polegała na pomiarze natężenia pola elektrostatycznego przy wykorzystaniu miernika DG-15 firmy LDIC. Lokalizację miejsc pomiaru przedstawiono na rys. 1. Dla każdej lokalizacji wykonano pięć odczytów natężenia pola, aby uśrednić wyniki pomiarów. Jako drugą metodę wybrano bezpośredni pomiar wartości potencjału elektrostatycznego na powierzchni worków w stosunku do ziemi, wykorzystując tym razem woltomierz elektrostatyczny. Lokalizacja miejsc pomiaru oraz sposób elektryzacji były identyczne jak w przypadku metody pierwszej. W trakcie badań zanotowano wartości maksymalne wskazywane przez miernik.

Bazując na maksymalnych wartościach natężenia pola elektrostatycznego zmierzonego pierwszą metodą, wyznaczono na podstawie (1) gęstość powierzchniową ładunku elektrostatycznego:

$$\sigma_{\max} = \varepsilon_0 \varepsilon_r E_{\max} \quad [C / m^2] \quad (1)$$

gdzie: σ_{\max} – maksymalna gęstość powierzchniowa ładunku, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni ($8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m), ε_r – przenikalność elektryczna względna (dla powietrza $\varepsilon_r = 1$), E_{\max} – maksymalne zmierzone natężenie pola elektrostatycznego.

Badania elektryzacji węzów ssących

Do badań stopnia elektryzowania się powierzchni węzów ssących postanowiono zastosować pomiar natężenia pola elektrostatycznego, wykorzystując miernik DG-15 firmy LDIC. Wyznaczono trzy miejsca pomiaru natężenia pola elektrostatycznego: początek węża (bezpośrednio przy wlocie zasysanych wiórów i pyłów), środek całkowitej długości węża oraz jego koniec (bezpośrednio przy króćcu ssącym urządzenia). W celu uśrednienia wyników wykonano dla każdej lokalizacji pięć odczytów natężenia pola. Bazując na maksymalnych wartościach zmierzonego natężenia pola elektrostatycznego, wyznaczono także gęstość powierzchniową ładunku elektrostatycznego (1).

Wyniki pomiarów elektryzacji

Wyniki pomiarów elektryzacji worków filtracyjnych

Krytyczną wartość natężenia pola $E_{kr} = 3$ kV/cm dobrano na podstawie normy PN-95/E-05201, przyjmując minimalną energię zapłonu obłoku pyłu drzewnego $W_{Zmin} = 4 \cdot 10^{-2}$ J [4]. Warunek doboru E_{kr} jest następujący:

$$E \leq 3,0 \cdot 10^5 \text{ V/m} \quad \text{przy} \quad 1 \cdot 10^{-4} \text{ J} < W_{Zmin} \leq 5 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad (2)$$

Maksymalny względny stopień zagrożenia ze względu na obecność pola elektrostatycznego α_E wyznaczono z zależności:

$$\alpha_E = \frac{E_{\max}}{E_{kr}} \quad (3)$$

gdzie: E_{kr} – krytyczna wartość natężenia pola elektrycznego, powyżej której może dojść do inicjacji wyładowań elektrostatycznych o energii zdolnej spowodować zapłon pyłu.

Krytyczną wartość potencjału $V_{kr} = 3$ kV dobrano na podstawie normy PN-95/E-05201, przyjmując jak poprzednio minimalną energię zapłonu obłoku pyłu drzewnego $W_{Zmin} = 4 \cdot 10^{-2}$ J [4]. Warunek doboru V_{kr} jest następujący:

$$V \leq 3,0 \cdot 10^3 \text{ V} \quad \text{przy} \quad 1 \cdot 10^{-4} \text{ J} < W_{Zmin} \leq 5 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad (4)$$

Maksymalny względny stopień zagrożenia ze względu na obecność potencjału elektrostatycznego α_V wyznaczono z zależności:

$$\alpha_V = \frac{V_{\max}}{V_{kr}} \quad (5)$$

gdzie: V_{kr} – krytyczna wartość potencjału elektrostatycznego, powyżej której może dojść do inicjacji wyładowań elektrostatycznych o energii zdolnej spowodować zapłon pyłu.

Krytyczną wartość gęstości ładunku $\sigma_{kr} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2$ dobrano na podstawie normy PN-95/E-05201. Warunek doboru σ_{kr} jest następujący:

$$\sigma \leq 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2 \quad (6)$$

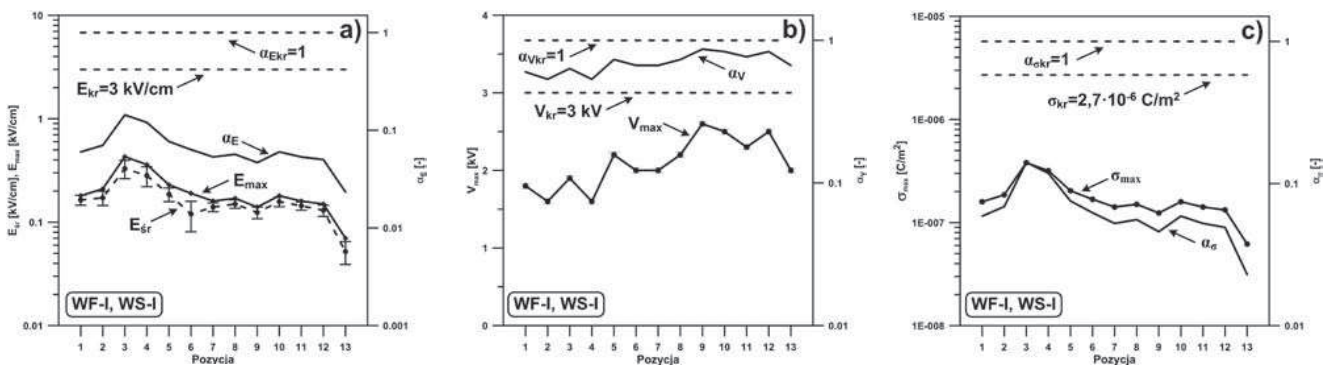
Na podstawie (1) wyznaczono maksymalny względny stopień zagrożenia ze względu na obecność ładunku elektrostatycznego α_σ :

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{kr}} \quad (7)$$

gdzie: σ_{kr} – krytyczna wartość gęstości powierzchniowej ładunku elektrostatycznego, powyżej której może dojść do

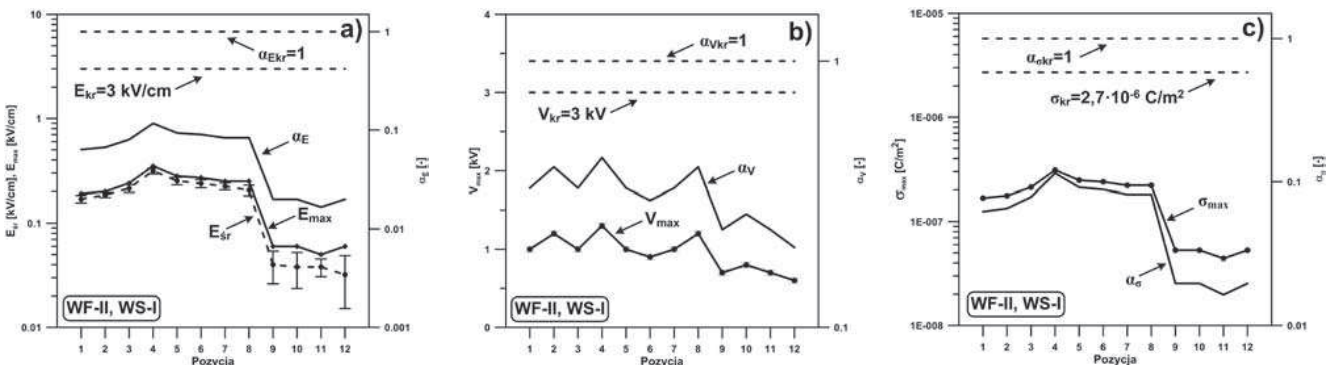
inicjacji wyładowań elektrostatycznych o energii zdolnej spowodować zapłon pyłu.

Na rys. 2, 3 i 4 zbiorczo przedstawiono wyniki pomiarów dla worków filtracyjnych WFI, WFII oraz WFIII. Na charakterystykach uwzględniono przedziały ufności wyznaczone przy założonym poziomie istotności 0,05 dla pomiarów natężenia pola oraz błąd systematyczny woltomierza elektrostatycznego wynikający z klasy przyrządu. Ponieważ wszystkie wartości maksymalnego względnego stopnia zagrożenia (α_E , α_V , α_σ) wyznaczone na podstawie badań oraz normy PN-95/E-05201 są mniejsze niż 1, należy stwierdzić, że nie występuje zagrożenie wynikające z gromadzenia się ładunków elektrostatycznych na powierzchni worków filtracyjnych (WF-I, WF-II, WF-III) podczas pracy stanowiskowego odciągu wiórów i pyłów.



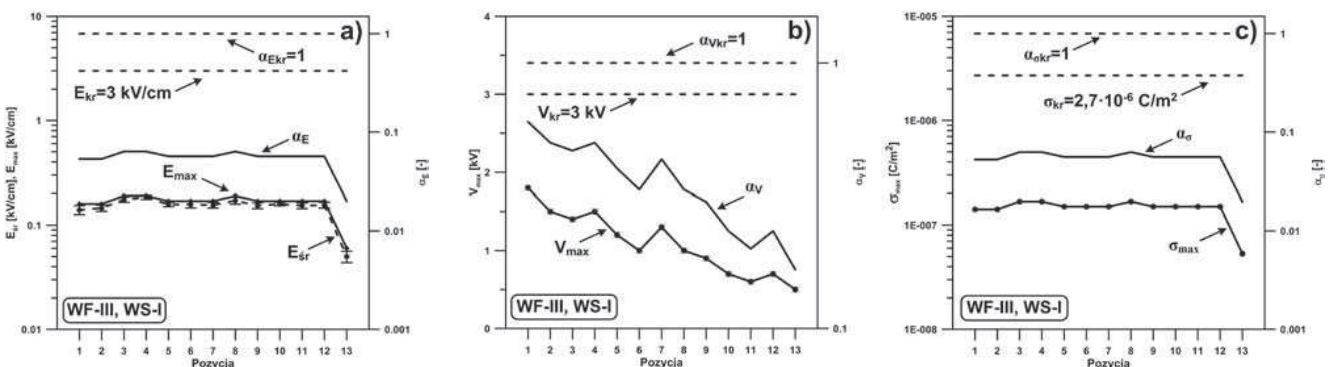
Rys. 2. Wyniki pomiarów natężenia pola (a), potencjału (b) oraz gęstości powierzchniowej ładunku (c) dla worka filtracyjnego WF-I (wąż ssący WS-I)

Fig. 2. Measurement results of the field intensity (a), potential (b) and charge surface density (c) for WF-I filtering bag (WS-I suction hose)



Rys. 3. Wyniki pomiarów natężenia pola (a), potencjału (b) oraz gęstości powierzchniowej ładunku (c) dla worka filtracyjnego WF-II (wąż ssący WS-I)

Fig. 3. Measurement results of the field intensity (a), potential (b) and charge surface density (c) for WF-II filtering bag (WS-I suction hose)



Rys. 4. Wyniki pomiarów natężenia pola (a), potencjału (b) oraz gęstości powierzchniowej ładunku (c) dla worka filtracyjnego WF-III (wąż ssący WS-I)

Fig. 4. Measurement results of the field intensity (a), potential (b) and charge surface density (c) for WF-III filtering bag (WS-I suction hose)

Wyniki pomiarów elektryzacji węży ssących

W tab. 3 zebrano wyniki pomiarów natężenia pola elektrostatycznego dla wszystkich rodzajów węży ssących w postaci: E_{sr} – wartość średnia, E_{max} – wartość maksymalna, α_E – względny stopień zagrożenia (3), $\alpha_{E_{max}}$ – maksymalny względny stopień zagrożenia. W tab. 4 zebrano wyniki gęstości powierzchniowej ładunku elektrostatycznego (1) dla wszystkich rodzajów węży ssących w postaci: σ_{max} – wartość maksymalna, α_σ – względny stopień zagrożenia (7), $\alpha_{\sigma_{max}}$ – maksymalny względny stopień zagrożenia.

Ponieważ wszystkie wartości maksymalnego względnego stopnia zagrożenia ($\alpha_{E_{max}}$, $\alpha_{\sigma_{max}}$) wyznaczone na podstawie badań oraz normy PN-95/E-05201 są mniejsze niż 1, należy stwierdzić, że nie występuje zagrożenie wynikające z gromadzenia się ładunków elektrostatycznych na powierzchni węży ssących (WS-I, WS-II) podczas pracy stanowiskowego odciążu wiórów i pyłów.

Tab. 3. Wyniki pomiarów natężenia pola elektrostatycznego powierzchni węży ssących

Tab. 3. Measurement results of the electrostatic field intensity of the surfaces of suction hoses

Oznaczenie	Pozycja pomiaru	E_{sr} (kV/cm)	E_{max} (kV/cm)	α_E
WS-I	1	0,304	0,35	0,116666667
	2	0,088	0,11	0,036666667
	3	0,07	0,09	0,03
$\alpha_{E_{max}} = 0,116666667$				
WS-II	1	0,03	0,04	0,013333333
	2	0,074	0,09	0,03
	3	0,066	0,09	0,03
$\alpha_{E_{max}} = 0,03$				

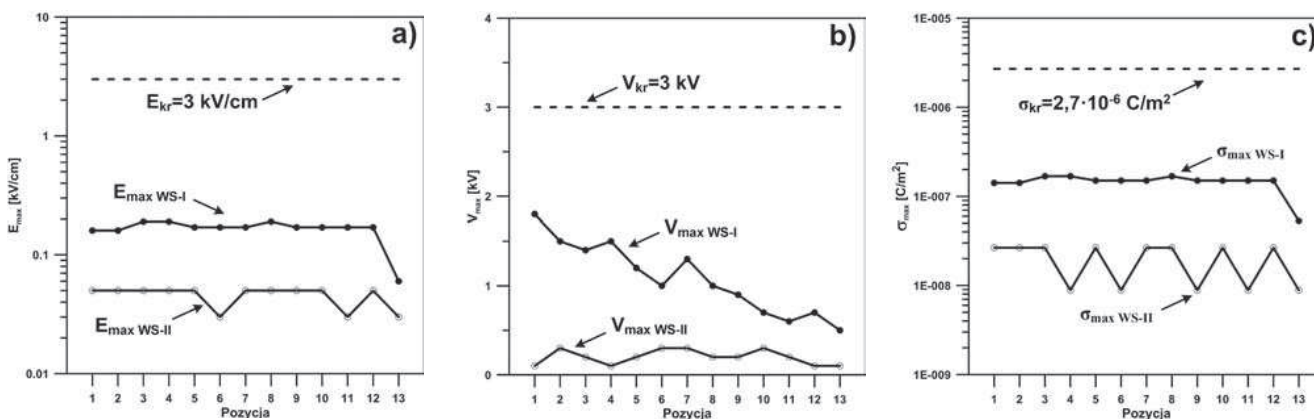
Tab. 4. Wyniki obliczeń gęstości ładunku elektrostatycznego na powierzchni węży ssących

Tab. 4. Calculation results of the electrostatic charge density on the surfaces of suction hoses

Oznaczenie	Pozycja pomiaru	σ_{max} (C/m ²)	α_σ
WS-I	1	3,0975E-07	0,114722222
	2	9,735E-08	0,036055556
	3	7,965E-08	0,0295
$\alpha_{\sigma_{max}} = 0,114722222$			
WS-II	1	3,54E-08	0,013111111
	2	7,965E-08	0,0295
	3	7,965E-08	0,0295
$\alpha_{\sigma_{max}} = 0,0295$			

Wnioski

Ze względu na najmniejszą zdolność do gromadzenia ładunków elektrostatycznych, w stanowiskowych odciążarkach wiórów i pyłów zaleca się stosowanie worków filtracyjnych z włókniny poliestrowej w wykonaniu antyelektrostatycznym oraz węży ssących z poliuretanu również w wykonaniu antyelektrostatycznym. Dodać jednak należy, że dla pozostałych materiałów, zarówno worków filtracyjnych, jak i węży ssących, nie stwierdzono niebezpiecznego poziomu gromadzenia się ładunków elektrostatycznych podczas pracy urządzenia w warunkach odciążu pneumatycznego wiórów i pyłu drzewnego. Przez zamianę węża ssącego wykonanego z PCV (WS-I) na wąż poliuretanowy (WS-II) uzyskano znaczne ograniczenie stopnia naelektryzowania worka filtracyjnego WF-III. Wyniki badań przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wyniki pomiarów natężenia pola (a), potencjału (b) oraz gęstości powierzchniowej ładunku (c) dla worka filtracyjnego WF-III i węży ssących WS-I oraz WS-II

Fig. 5. Measurement results of the field intensity (a), potential (b) and charge surface density (c) for WF-III filtering bag and WS-I and WS-II suction hoses

Bibliografia

1. Janas S., Wolff T.: *Bezpieczeństwo wybuchowe w teorii i praktyce* – cz. I, Powder&Bulk, 2/2010, Vogel Business Media sp. z o.o.
2. Wolff Z., Gruszka S., Wolff T.: *Elektryczność statyczna – wszechobecne źródło zagrożenia wybuchem*. Powder & Bulk, 2/2010, Vogel Business Media sp. z o.o.
3. Kędzia J.: *Metody elektryzacji statycznej w badaniach dielektryków*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, z. 153, Opole 2004.
4. Zdanowski M., Wolny S., Zmarzły D., Kędzia J.: *The Analysis and Selection of the Spinning Disk System Parameters for the Measurement of Static Electrification of Insulation Oils*. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 14, no. 2, April 2007, pp. 480–486.
5. Wolny S., Kędzia J., Zdanowski M.: *Novel method of charge mobility assignation in liquid dielectrics by streaming electrification*. Materials Science-Poland, Vol. 27, No. 4/2, 2009, pp. 1263–1269.
6. Kondej D., Gawęda E.: *Wybuchowość pyłów metali*. Bezpieczeństwo Pracy, 10/2006, s. 12–15. ■

Measurements of electrostatic charges generated by a pneumatic wood dust collector

The paper presents research results of the electrostatic field distribution generated due to electrification of wood

shavings and dust during their pneumatic transport. The research analysis was based on experimental measurement results in service conditions taken on a working stand collector equipped with a filtering bag. A comparison of the hazard degree connected with gathering of electrostatic charges was made for three types of filtering bag materials and two types of suction hoses. Based on the investigations and analyses carried out, final conclusions have been drawn and recommendations for constructors of such equipment have been made in order to limit hazards connected with generation and gathering of electrostatic charges, which might cause explosion of the wood dust.

Keywords: electrostatics, dust electrification, wood dust

dr hab. inż. Stefan Wolny

Od 1995 r. jest pracownikiem Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej, obecnie zatrudnionym na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Jest kierownikiem Katedry Inżynierii Materiałowej i Elektrycznej, której zespół naukowy prowadzi badania nad zjawiskiem elektryzacji strumieniowej cieczy dielektrycznych oraz badania związane z diagnostyką stanu wysokonapięciowych układów izolacji. W 2010 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego, przedstawiając monografię opisującą diagnostykę stanu izolacji papiero-olejowej z wykorzystaniem metod polaryzacyjnych. Jest autorem blisko 70 publikacji naukowych.



e-mail: s.wolny@po.opole.pl