

**Marcin LEWANDOWSKI<sup>1</sup>**

Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny,  
Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii (1)

## **Badania starzeniowe kompozytowych materiałów ekranujących pole EM wytworzonych metodą dwuźródłowego rozpylania magnetronowego**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono badania starzeniowe kompozytowych materiałów ekranujących pole elektromagnetyczne EM otrzymywanych metodą dwuźródłowego rozpylania magnetronowego DC-M. Materiał kompozytowy wytworzono poprzez pokrycie włókniny polipropylenowej warstwą metaliczną w procesie rozpylania targetów tytanu Ti oraz stopu mosiądzu MO<sub>58</sub>

**Słowa kluczowe:** rozpylanie magnetronowe DC-M, materiały kompozytowe, ekranowanie pola elektromagnetycznego, badania starzeniowe.

### **Wstęp**

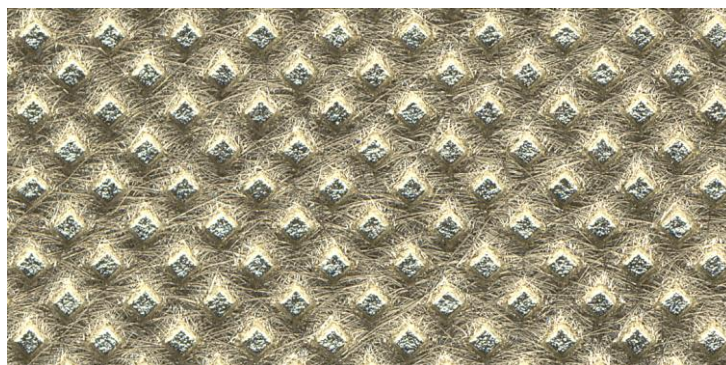
Ze względu na intensywny wzrost ilości urządzeń będących źródłem wytwarzania pola elektromagnetycznego oraz ich coraz większej mocy i częstotliwości, skuteczność ekranowania pola EM staje się coraz większym wyzwaniem. Dobry materiał ekranujący cechować musi się dużą skutecznością ekranowania pola EM (wysokim współczynnikiem SE), dużą odpornością na niekorzystne czynniki środowiskowe (temperatura, wilgotność) oraz dużą wytrzymałością mechaniczną. Najczęściej występującą grupą materiałów ekranującym są metalowe płyty lub siatki. Charakteryzują się one bardzo wysoką skutecznością ekranowania pola EM. Jednak niezaprzeczalną ich wadą jest niska odporność na oddziaływanie środowiska zewnętrznego oraz relatywnie wysoka masa. Alternatywą dla tej grupy są materiały kompozytowe [1-3]. Układy kompozytowe można podzielić na jednowarstwowe, wielowarstwowe oraz na materiały domieszkowane w postaci włókien, płatków, lub cząstek przewodzących. Przewodzące warstwy lub elementy przewodzące można wprowadzać po przez sitodruk, malowanie proszkowe lub parowanie próżniowe. Jednakże nie każdy z materiałów można w sposób skuteczny pokryć warstwą przewodzącą (np. PTFE lub PP). Najkorzystniejszą metodą uzyskania warstwy przewodzącej w tym wypadku jest rozpylanie magnetronowe. W procesie tym powierzchnia pokrywanego materiału ulega dodatkowo aktywacji, co ułatwia pokrycie tego materiału.

Poprzednie badania wykazały, że warstwy metaliczne (Zn) osadzone za pomocą rozpylania magnetronowego na polipropylenowej włókninie umożliwiają skuteczne ekranowanie pola elektrycznego (współczynnik SE powyżej 35 dB) [4]. Charakteryzowały się one jednak dość słabą odpornością na czynniki środowiskowe [5]. Aby zwiększyć odporność otrzymywanych warstw na czynniki środowiskowe oraz zwiększyć wytrzymałość mechaniczną, zaproponowano wytwarzanie warstw przewodzących przy użyciu dwuźródłowego rozpylania magnetronowego (użyciu dwóch materiałów do wytworzenia warstwy przewodzącej). Celem pracy było zbadanie wpływu

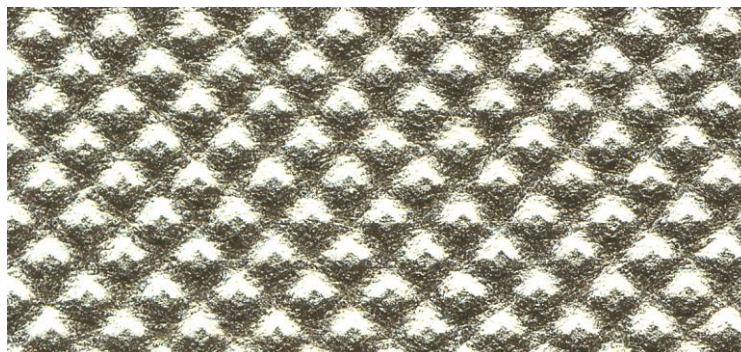
parametrów starzeniowych (czas, temperatura i wilgotność) na właściwości ekranujące otrzymanych warstw przy użyciu komory klimatycznej Espec PL-1KPH.

#### Dwuźródłowe rozpylanie magnetronowe

Materiał kompozytowy wytworzono poprzez pokrycie włókniny polipropylenowej ( $180\text{g/m}^2$ ) warstwą metaliczną w procesie rozpylania targetów tytanu Ti (o czystości 99%) oraz stopu mosiądzu  $\text{MO}_{58}$  (58%Cu, 40%Zn, 2%Pb) o średnicach  $\phi = 50\text{ mm}$  w atmosferze argonu. Wyrzutnie magnetronowe zasilano impulsowym źródłem prądowym DPS (Dora Power System) o maksymalnej mocy 16 kW i maksymalnym napięciu 1,2 kV o regulowanej częstotliwości grupowej od 5 Hz do 5 kHz. Metaliczne warstwy otrzymywano dla następujących warunków zasilania: ciśnienie robocze  $p = 2 \times 10^{-3}\text{ Torr}$  moc rozpylania  $P = 750\text{ W}$ , czas nakładania warstwy  $t = 5\text{ min}$ , częstotliwość grupowa  $f_g = 2\text{ kHz}$ , częstotliwość przełączania między targetami  $f_p = 1\text{ Hz}$ . Pokrytą włókninę przewodzącą warstwą tytanu i mosiądzu w proporcjach 50% - 50% przedstawiono na rysunku 1 (strona A) i rysunku 2 (strona B).



Rys. 1. Włóknina polipropylenowa pokryta przewodzącą warstwą tytanu i mosiądzu w proporcjach 50% - 50% – strona A (próbka A3).



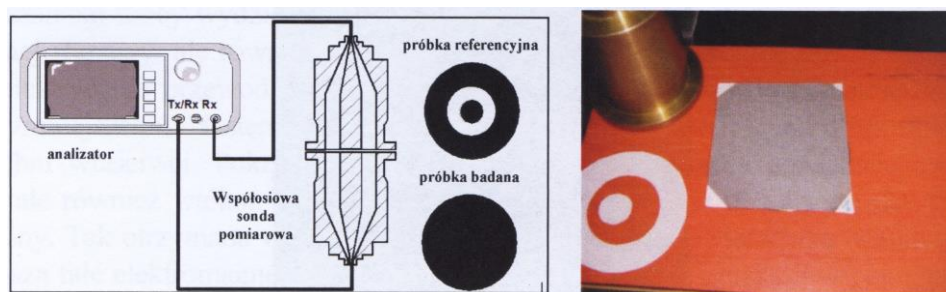
Rys. 2. Włóknina polipropylenowa pokryta przewodzącą warstwą tytanu i mosiądzu w proporcjach 50% - 50% – strona B (próbka B3).

#### Układ pomiarowy

Na rysunku 3 przedstawiono schemat układu pomiarowego do pomiaru skuteczności ekranowania SE według metody zgodnej z ASTM D49355-9. Niepewność pomiaru współczynnika SE wynosiła około 2 dB. Rezystywność powierzchniowa otrzymanych

### IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

warstw przewodzących została wyznaczona za pomocą pomiaru rezystancji powierzchniowej elektrodą koncentryczną wykonaną według normy PN-88/E-04405.



a) b)  
Rys. 3. Schemat układu do pomiaru skuteczności ekranowania według metody zgodnej z ASTM D49355-99: 1) schemat pomiarowy, 2) sposób przygotowania próbki.

#### **Wyniki**

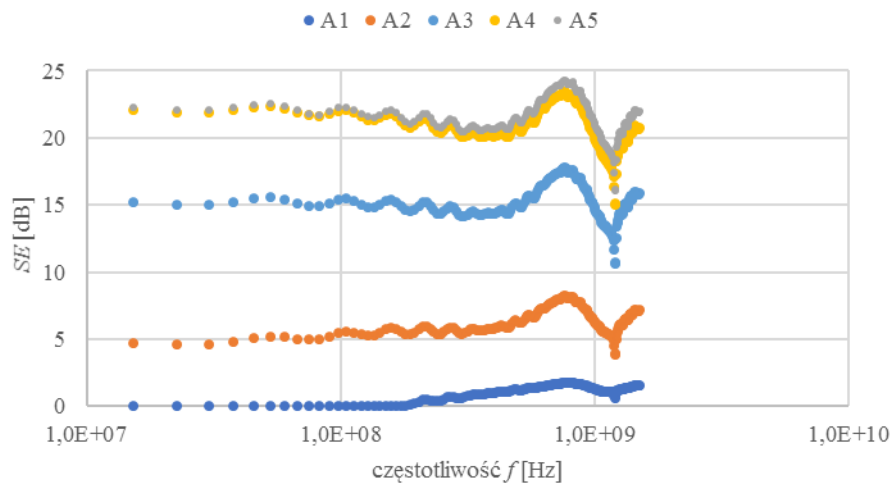
Włóknina polipropylenowa została pokryta jednostronnie (5 próbek po stronie A: A1-A5 oraz 5 próbek po stronie B: B1-B5) dla różnych stosunków czasów rozpylania targetów tytanu i mosiądzu. Strona B włókniny polipropylenowej była znacznie bardziej rozbudowana niż strona A. Wartości rezystywności powierzchniowej  $\rho_s$  i średniej wartości skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego  $SE$  (zakres częstotliwości od 10 MHz do 2 GHz) w warunkach normalnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Materiały kompozytowe PP/mosiądz/tytan nie poddane warunkom starzeniowym.

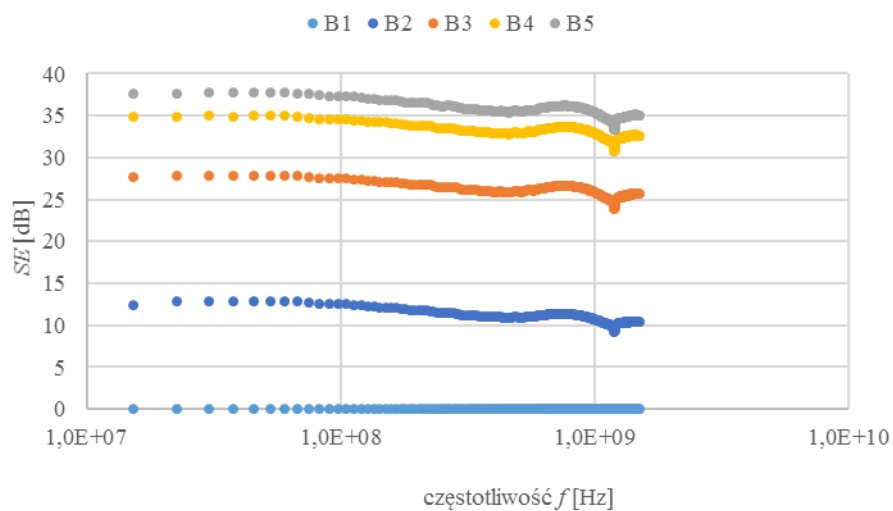
	tytan [%]	mosiądz [%]	$\rho_s$ [ $\Omega$ ]	$SE$ [dB]
<b>A1</b>	100	0	160k	2
<b>A2</b>	75	25	3,2k	6
<b>A3</b>	50	50	700	15
<b>A4</b>	25	75	270	22
<b>A5</b>	0	100	250	22
<b>B1</b>	100	0	4,9k	0
<b>B2</b>	75	25	1k	12
<b>B3</b>	50	50	98	27
<b>B4</b>	25	75	33	34
<b>B5</b>	0	100	24	36

Skuteczność ekranowania pola elektromagnetycznego w zależności od częstotliwości  $f$  przedstawiono na rysunku 4 (strona A) oraz na rysunku 5 (strona B). Wyniki przedstawione na rysunkach 4 i 5 oraz tabeli 1 wskazują wyraźny wpływ struktury tkaniny po obu jej stronach na wartość  $SE$ . Pokryta strona B włókniny PP warstwą przewodzącą posiada znacznie wyższy współczynnik tłumienia pola EM w stosunku do strony A w szerokim zakresie częstotliwości. Wraz ze wzrostem ilości mosiądzu w materiałach kompozytowych maleje rezystywność warstwy, a co za tym idzie rośnie

współczynnik  $SE$ . Wykazano, że zależność współczynnika  $SE$  od logarytmu rezystywności powierzchniowej  $\rho_s$  ma charakter liniowy [6].



Rys. 4. Zależność skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego  $SE$  od częstotliwości  $f$  dla pokrytej strony A. Próbkę nie poddano próbom starzeniowym.



Rys. 5. Zależność skuteczności ekranowania pola elektromagnetycznego  $SE$  od częstotliwości  $f$  dla pokrytej strony B. Próbkę nie poddano próbom starzeniowym.

Przygotowane próbki materiałów kompozytowych poddano próbom starzeniowym w komorze klimatycznej Espec PL-1KPH. Pierwszym etapem ich starzenia było umieszczenie ich w komorze klimatycznej w temperaturze  $t=23^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $RH=90\%$  na okres jednego tygodnia. Następnie zmieniono warunki podwyższając temperaturę do  $t=90^{\circ}\text{C}$  nie zmieniając wilgotności względnej na okres jednego tygodnia.

## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Po każdym etapie wyznaczana została średnia wartość współczynnik  $SE$  (zakres częstotliwości od 10 MHz do 2 GHz) oraz rezystywność powierzchniowa  $\rho_s$ . Zbiorcze wyniki pomiarów zostały umieszczone w tabeli 2. Wartość rezystywności powierzchniowej po próbach starzeniowych pozostała taka sama. Jedynie przy próbkach z większą zawartością mosiądzu w warstwie przewodzącej (A4, A5, B4, B5) rezystywność powierzchniowa wzrosła nie więcej niż o 10%. Średnia wartość współczynnika  $SE$  spadła jedynie o 1 dB dla próbki B5 (warstwa przewodząca 100% mosiądzu) dla reszty próbek została bez zmian.

**Tabela 2.** Materiały kompozytowe PP/mosiądz/tytan poddane próbą starzeniowym

	t=23°C, RH=90%		t=90°C, RH=90%	
	$\rho_s$ [ $\Omega$ ]	SE [dB]	$\rho_s$ [ $\Omega$ ]	SE [dB]
<b>A1</b>	160k	2	160k	2
<b>A2</b>	3,2k	6	3,2k	6
<b>A3</b>	700	15	700	15
<b>A4</b>	270	22	275	22
<b>A5</b>	250	22	260	22
<b>B1</b>	4,9k	0	4,9k	0
<b>B2</b>	1k	12	1k	12
<b>B3</b>	98	27	100	27
<b>B4</b>	33	34	40	34
<b>B5</b>	24	36	32	<b>35</b>

### Podsumowanie

- Kompozyt składający się z włókniny polipropylenowej pokryty warstwą tytanu oraz stopem mosiądzu może skutecznie ekranować pole elektromagnetyczne;
- Znaczący wpływ na skuteczność ekranowania ma struktura włókniny polipropylenowej;
- Dodatek tytanu w ilości poniżej 25% nie powoduje w znaczący sposób pogorszenia właściwości ekranujących i obniżenia współczynnika  $SE$ ;
- Wyniki badań starzeniowych prowadzą do wniosku, że podwyższona wilgotność i temperatura nie wpływają na jakość struktury ani na jej skuteczność ekranowania pola EM. Zmiany wartości współczynnika  $SE$  mieszczą się w granicach niepewności pomiarowej.

### Literatura

1. Jaroszewski M, Pospieszna J and Ziaja J *Dielectric properties of polypropylene fabrics with carbon plasma coatings for applications in the technique of electromagnetic field shielding* J. Non-Cryst. Solids vol. 365(11-17) s.625-628 **2010**
2. Ziaja J, Ozimek M and Janukiewicz J *Zastosowanie cienkich warstw otrzymanych metodą impulsowego rozpylania magnetronowego w ekranowaniu pól elektromagnetycznych*, Przegląd Elektrotechniczny vol. 86(5) s.222-224 **2010**
3. Ziaja J, Koprowska J and Janukiewicz J *Using Plasma Metallisation for Manufacture of Textile Screens Against Electromagnetic Fields* Fibres & Textiles in EE vol. 16(5) s.64-66 **2008**

4. Jaroszewski M, Pospieszna J, Ziaja J, Ozimek M *Composites Made of Polypropylene Nonwoven Fabric with Plasmas Layers* Polypropylene s.317-328 **2012**
5. Ziaja J, Krawczyk K *Badania wpływu temperatury i wilgotności na rezystywność powierzchniową materiałów kompozytowych ekranujących pole elektromagnetyczne* Przegląd Elektrotechniczny vol. 89(7) s.321-323 **2013**
6. Ziaja J, Jaroszewski M, Lewandowski M, *EMI shielding using composite materials with two sources magnetron sputtering* IOP:Conference Series (przyjęte do druku) **2016**

---

**Autor:** dr inż. Marcin Lewandowski; Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Wydział Elektryczny, Politechnika Wrocławska Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: [marcin.p.lewandowski@pwr.edu.pl](mailto:marcin.p.lewandowski@pwr.edu.pl)