

## BADANIE WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW PVC I ODPADOWEJ RUDY CYNKU POD WZGLĘDEM EKRAHOWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W.CZ.

Adam JAKUBAS<sup>1</sup>, Paweł JABŁOŃSKI<sup>2</sup>, Damian BAMBYNEK<sup>3</sup>

1. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny  
tel.: 34 3250892, e-mail: adam.jakubas@gmail.com
2. tel.: 34 3250306, e-mail: paweljablonski7@gmail.com
3. tel.: 34 3250892, e-mail: d.bambynek@gmail.com

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości ekranujących wykonanych kompozytów metalowo-polimerowych w zakresie fal elektromagnetycznych w.cz. Rozpatrywano kompozyty z udziałem materiałów odpadowych w postaci rudy cynku (PVC-xZn) w proporcjach od 10:90 do 20:80. W celach porównawczych przeprowadzono także badania kompozytu z udziałem żelaza (PVC-Fe) w proporcjach od 50:50 do 70:30. Stwierdzono, że sporządzone kompozyty wykorzystujące odpadową rudę cynku mają dobre właściwości ekranujące, a ponadto są one na podobnym poziomie co w przypadku kompozytu PVC-Fe. Pozwala to na wykonanie tańszego materiału ekranującego w postaci materiału odpadowego.

**Słowa kluczowe:** Kompozyty polimer-metal, ekranowanie elektromagnetyczne, materiały ekranujące, ruda cynku.

### 1. INFORMACJE OGÓLNE

Współcześnie w otoczeniu człowieka występuje coraz więcej źródeł promieniowania elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości. Obecnie w powszechnym użyciu znajduje się coraz więcej urządzeń takich, jak: telefony komórkowe, smartfony, tablety, komputery przenośne. Jednocześnie znacząco wzrasta liczba obiektów telekomunikacyjnych opartych na technologiach Wi-Fi, GSM, LTE itp. Wymienione urządzenia i obiekty emitują jednostkowo niski, aczkolwiek permanentny poziom promieniowania elektromagnetycznego. W związku z tym pojawiło się zwiększone zapotrzebowanie na ekrany elektromagnetyczne codziennego użytku. Nowo opracowane kompozyty polimerowe o właściwościach ekranujących mogą przyczynić się do poprawy jakości życia ludzi [1][2].

Tematyka właściwości ekranujących kompozytów jest popularna wśród badaczy. Kim i wsp. [3] badali kompozyty poliestrowe z dodatkiem polimerów przewodzących (polipirołu) przy częstotliwości do 1,5 GHz. Ich wyniki potwierdzają, że właściwości ekranujące kompozytu wzrastają wraz ze wzrostem jego przewodnictwa. Tzeng i Chang [4] badali skuteczność ekranowania kompozytów ABS wzmocnionych włóknami miedzianymi i niklowymi. Nowością w temacie EMI (the electromagnetic interference) jest zastosowanie nanorurek węglowych. Wyniki badań nad kompozytami polimer-nanorurki węglowe można odnaleźć

w pracach Thomassin i wsp. [5] oraz u Al-Saleh i Sundararaj [6].

W ramach prowadzonych badań wykonaliśmy domieszkowanie polimerowych struktur kompozytowych produktami odpadowymi rud metali. Tak powstałe ekoinnowacyjne materiały ekranujące pole elektromagnetyczne pozwolą na znaczne ograniczenie ilości odpadów, których składowanie jest istotnym aspektem środowiskowym.

### 2. MATERIAŁY I POMIARY

#### 2.1. Przygotowanie próbek

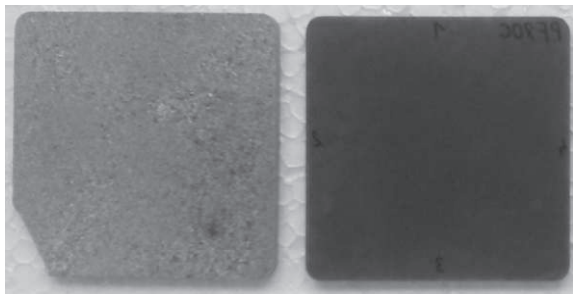
Materiały użyte do sporządzenia próbek stanowiły odpady pozostałe po przeróbce rudy cynku (oznaczone dalej jako xZn), proszek żelazny oraz sproszkowany polichlorek winylu. Mieszanina otrzymana po odzysku rudy cynku zawierała następujące składniki w różnych proporcjach: glin, żelazo, krzem, cynk, ołów, siarkę oraz uwięzioną wodę. Materiały te poddano wstępnie procesowi przesiewania w celu odseparowania zbyt dużych frakcji. Zbliżona wielkość cząstek obu substancji pozwoliła na uzyskanie jednorodnej mieszaniny. Jako spoiwo został użyty polichlorek winylu, ponieważ charakteryzuje się on dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi. Ponadto jest on odporny na działanie wielu rozpuszczalników, w tym wody oraz stężonych i rozcieńczonych kwasów i zasad, a także olejów mineralnych. Następnie sporządzono mieszaniny PVC-Fe i PVC-xZn w różnych proporcjach wagowych (Tabela 1).

Tabela 1. Skład procentowy komponentów kompozytów

	PZn10	PZn15	PZn20	PFe50	PFe60	PFe70
PVC, %	10	15	20	50	60	70
xZn, %	90	85	80	-	-	-
Fe, %	-	-	-	50	40	30

Dokładnie odważone i wymieszane komponenty przesypały do stalowej formy, a następnie poddano procesowi prasowania w temperaturze 165 °C. Proces polimeryzacji kompozytu odbywał się przy ciśnieniu 50 MPa w czasie wygrzewania ok. 10 min. po osiągnięciu wymaganej temperatury. Dzięki zastosowaniu wysokiej

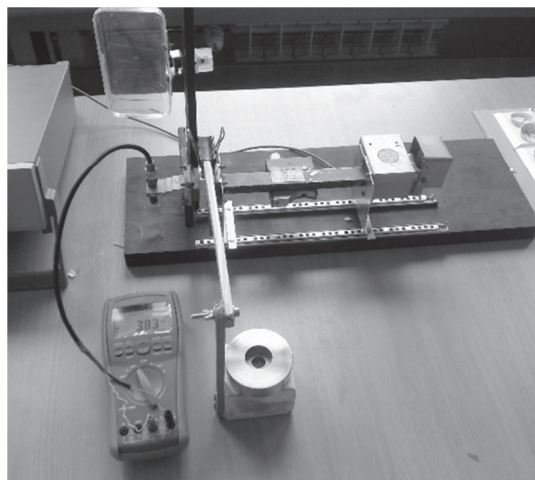
temperatury i dużego nacisku w tworzonych próbkach zredukowano przestrzenie powietrzne uzyskując w miarę jednorodny materiał. W procesie otrzymano płytki o wymiarach 80 mm × 80 mm, grubości od 4 do 4,5 mm i wadze od 47 do 67 g (Rys. 1).



Rys. 1. Przykładowe płytki kompozytowe: PVC-xZn (jasna) oraz PVC-Fe (ciemna)

## 2.2. Pomiary

Otrzymane kompozyty zbadano pod kątem zdolności ekranowania fali elektromagnetycznej. Do tego celu użyto otwartego na końcu falowodu zasilanego z generatora FVC99 VCO 10 GHz (WORK Microwave GmbH Holzkirchen) – długość fali w powietrzu 3 cm. Do końca falowodu była przymocowana antena tubowa, a w odległości 1 cm znajdowała się antena tubowa odbiornika z detektorem mikrofalowym MDL 90DH389-1R (Microwave Development Laboratories) – Rys. 2. Odczyty wartości napięcia z detektora wykonano multimetrem cyfrowym Appa 505 – dokładność względna  $\pm (0,04 \% + 0,04 \text{ mV})$ .



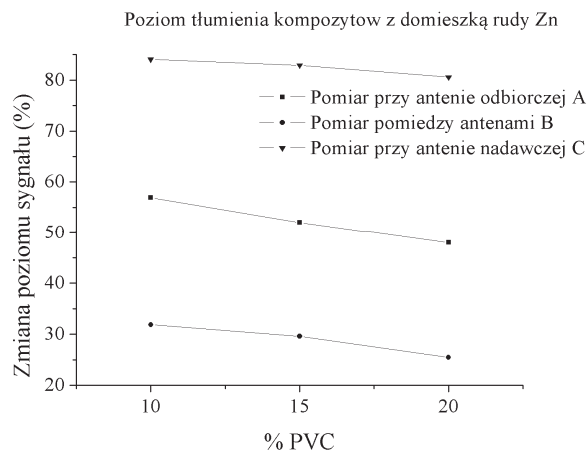
Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego

Badaną płytkę kompozytową umieszczano pomiędzy otwartym końcem falowodu a anteną odbiorczą. Pomiarów dokonano dla trzech położeń płytki: A – tuż przy antenie odbiorczej, B – pośrodku między wyjściem falowodu a anteną odbiorczą, C – tuż przy wylocie falowodu. W każdym położeniu pomiary były wykonywane wielokrotnie, a wynik jest średnią tych pomiarów (Tabela 2).

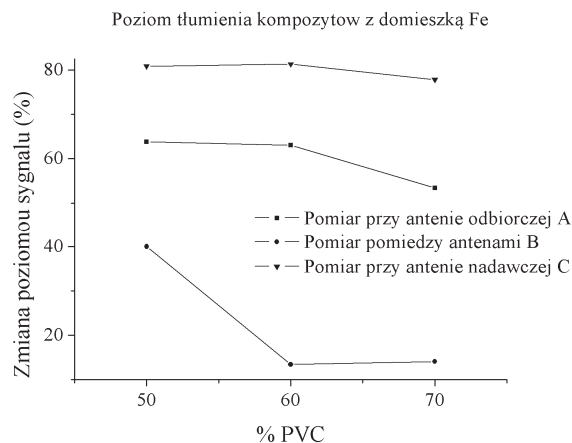
Na podstawie pomiarów obliczono tłumienie fali elektromagnetycznej przez płytkę. W zakresie małych napięć (do kilkudziesięciu miliwoltów) detektor daje napięcie wyjściowe proporcjonalne do mocy fali. Zatem tłumienie mocy fali równa się ilorazowi napięcia wyjściowego zmierzonego w obecności płytki do napięcia wyjściowego zmierzonego bez płytki. Wyniki przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów (dla napięcia wyjściowego podano średnią  $\pm$  odchylenie standardowe)

Kompozyt	Grubość, mm	Napięcie wyjściowe detektora, mV			
		Bez płytki	A	B	C
PxZn10	4,3	13,86 $\pm 0,05$	7,21 $\pm 0,37$	10,33 $\pm 0,8$	2,69 $\pm 0,07$
PxZn15	4,1	13,86 $\pm 0,05$	6,65 $\pm 0,13$	9,76 $\pm 0,8$	2,37 $\pm 0,12$
PxZn20	4,0	13,90 $\pm 0,05$	5,98 $\pm 0,14$	9,47 $\pm 0,28$	2,21 $\pm 0,08$
PFe50	4,5	14,26 $\pm 0,01$	5,16 $\pm 0,35$	8,56 $\pm 0,25$	2,73 $\pm 0,11$
PFe60	4,0	14,26 $\pm 0,01$	5,27 $\pm 0,23$	12,35 $\pm 0,29$	2,66 $\pm 0,11$
PFe70	4,3	14,28 $\pm 0,01$	6,65 $\pm 0,18$	12,27 $\pm 0,84$	3,16 $\pm 0,06$



Rys. 3. Pomiar tłumienia dla kompozytu domieszkowanego xZn przy różnych proporcjach PVC i miejscach pomiarowych



Rys. 4. Pomiar tłumienia dla kompozytu domieszkowanego Fe przy różnych proporcjach PVC i miejscach pomiarowych

Z przedstawionej analizy wynika, że dla tego samego położenia tłumienie rośnie wraz ze wzrostem procentowego udziału żelaza, a więc zgodnie z oczekiwaniami. Widoczne jest także, że tłumienie silnie zależy od położenia płytki w szczelinie między końcem falowodu, a anteną odbiorczą, co można wytłumaczyć sposobem rozchodzenia się fali z otwartego końca falowodu (nie jest to fala płaska) oraz niecentralnym położeniem płytki w szczelinie (z uwagi na sposób mocowania falowodu i anteny).

Kompozyt PVC-xZn w rozpatrywanych proporcjach pozwala uzyskać podobny poziom ekranowania co

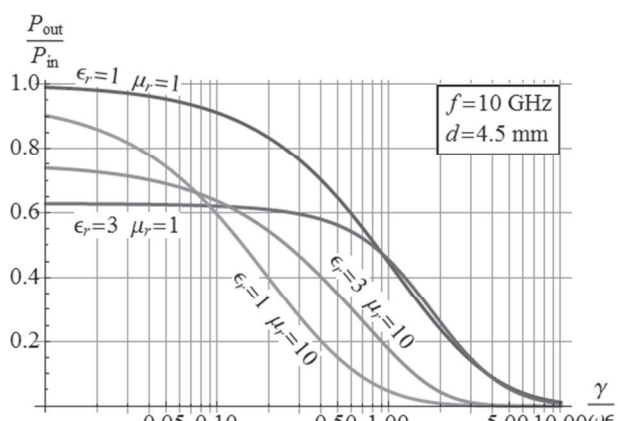
kompozyt PVC-Fe. Zatem możliwe jest wykorzystanie materiału odpadowego w postaci rudy cynku jako składnika kompozytów o stosunkowo dobrych właściwościach ekranujących pole EM w.cz.. W efekcie kompozyt PVC-xZn powinien być tańszy niż PVC-Fe, mieć pożądane właściwości ekranujące, a jednocześnie pozwalać na zagospodarowanie rozpatrywanych materiałów odpadowych.

### 2.3. Rozważania teoretyczne

Rozważania teoretyczne przeprowadzone zostaną przy założeniu, że płytka ma rozmiar znacznie większy od długości fali, a sama fala jest płaską falą monochromatyczną. Analiza przejścia fali płaskiej z zastosowaniem wzorów podanych np. w [7] prowadzi do następującego wzoru na tłumienie sygnału za płytką:

$$\frac{P_{\text{przechodząca}}}{P_{\text{padająca}}} = \left| 4 \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \frac{\exp(-\Gamma_2 d)}{\left(1 + \frac{\zeta_2}{\zeta_1}\right)^2 - \left(1 - \frac{\zeta_2}{\zeta_1}\right)^2 \exp(-2\Gamma_2 d)} \right|^2 \quad (1)$$

gdzie  $\zeta_1$  i  $\zeta_2$  są impedancjami falowymi odpowiednio płytki i otoczenia,  $d$  jest grubością płytki, a  $\Gamma_2$  – zespolonym współczynnikiem propagacji fali w płytce. Powyższy wzór zostanie wykorzystany do oceny właściwości elektromagnetycznych kompozytu. Na rysunku 5 zilustrowano powyższą zależność w funkcji ilorazu  $\gamma_2/\omega\epsilon_2$  dla różnych przykładowych wartości przenikalności względnej elektrycznej i magnetycznej dla częstotliwości 10 GHz i grubości płytki 4,5 mm. Parametry materiałowe należy tutaj traktować jako efektywne parametry kompozytu. Bardziej szczegółowa analiza zostanie przeprowadzona w dalszych pracach nad rozpatrywanymi kompozytami.



Rys. 5. Teoretyczna zależność tłumienia mocy przez płytkę znajdującą się w powietrzu wg zależności (1)

## SHIELDING OF HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES BY COMPOSITES CONTAINING PVC AND WASTE ZINC ORE

We tested the properties of metal-polymer composites with respect to shielding of high frequency electromagnetic fields. Composites containing waste zinc ore (PVC-xZn) in the ratio of 10:90 to 20:80 were considered. For comparison, we also tested 50:50 to 70:30 composites with iron (PVC-Fe). It has been found that the composites with waste zinc ore have relatively good shielding properties, at the level similar to the PVC-Fe composite, i.e. to 25-80% of the power of the incident electromagnetic wave. The results show that the waste zinc ore could be used as a component for new eco-innovative composites, which would be cheaper than with those with use of iron. Another advantage would be a new path for managing the waste zinc ore.

**Keywords:** Polymer-metal composites, electromagnetic shielding, shielding materials, zinc ore.

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki badań wskazują na możliwość zastosowania materiałów odpadowych zawierających różne metale do wytwarzania kompozytów ekranujących pole elektromagnetyczne w.cz. Dodatkowym atutem takich kompozytów jest ich zdolność do wiązania w swej strukturze komponentów, które w stanie wolnym mogą być szkodliwe dla środowiska.

Porównanie właściwości próbek zawierających odpady po odzysku rudy cynku do próbek zawierających czyste żelazo wykazało, że podobny poziom ekranowania uzyskuje się przy dużo większej zawartości napełniacza xZn. Można zauważyć, że poziom ekranowania uzależniony jest od miejsca pomiarowego – w najkorzystniejszym przypadku uzyskano zmniejszenie mocy promieniowania o około 80%.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Kollár P., Füzer J., Bureš R., Fáberová M.: AC magnetic properties of Fe-based composite materials, *IEEE Trans. Magn.* 2010, 46, 467-470,
2. Bambynek D., Jakubas A., Jabłoński P.: Badanie możliwości ekranowania pola elektromagnetycznego przez wybrane kompozyty polimerowe, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017, 1, 121-124,
3. Kim M. S. et al.: PET fabric/polypyrrole composite with high electrical conductivity for EMI shielding. *Synthetic Metals*, 2002, (2)126, 233-239,
4. Tzeng S.S., Chang F.Y.: EMI shielding effectiveness of metal-coated carbon fiber-reinforced ABS composites. *Materials Science and Engineering: A*, 2001, 2(302), 258-267,
5. Thomassin J.M. et al.: Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2013, 7(74), 211-232,
6. Al-Saleh M.H., Sundararaj U.: Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites. *Carbon*, 2009, 7(47), 1738-1746,
7. Piątek Z., Jabłoński P.: *Podstawy teorii pola elektromagnetycznego*, WNT, Warszawa 2015.

