

Struktury włókiennicze chroniące przed działaniem pola elektromagnetycznego (PEM)

Błażej Wiśniewski, Katarzyna Śledzińska

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwości otrzymania włókienniczych materiałów kompozytowych charakteryzujących się tłumieniem pola elektromagnetycznego w szerokim zakresie częstotliwości (od kilkunastu MHz do 18 GHz). Jedną z grup materiałów reprezentują włókniny na bazie polipropylenu metalizowane różnymi stopami metali za pomocą metody rozpylania magnetronowego w plazmie gazu obojętnego (argonu). Najlepsze wyniki skuteczności ekranowania (SE), wynoszące od 38 do 45 dB, uzyskano dla materiałów pokrytych powłokami (miedź/cyna Cu/Sn i miedź/cynk/nikiel Cu/Zn/Ni) dla częstotliwości 27,12 MHz. Najniższą skuteczność ekranowania w granicach 15–29 dB posiadały próby zawierające powłoki: nikiel/chrom Ni/Cr i nikiel/miedź/żelazo Ni/Cu/Fe dla tej samej częstotliwości.

Drugą grupę stanowią dziane materiały ekranujące. W zależności od struktury oraz zastosowanego surowca konduktywnego (posrebrzane włókna poliamidowe, włókna stalowe) skuteczność ekranowania materiałów, badana metodą falowodową w obszarze częstotliwości 2,5–18 GHz, wynosi 30–47 dB, a współczynnik transmisji 0,01–0,1%. Wysoka skuteczność ekranowania oraz niska przenikalność PEM przy niskiej masie powierzchniowej i grubości ma zasadnicze znaczenie w zakresie możliwych obszarów zastosowań tych materiałów, np. ubrania, odzież ochronna i jej elementy, przenośne ekrany PEM dla różnych zastosowań użytkowych.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ekranowanie, skuteczność ekranowania

TEXTILE STRUCTURES PROTECTING AGAINST ELECTROMAGNETIC FIELD (EMF)

Abstract: The article presents the possibilities to obtain textile composite materials which have a barrier effect against electromagnetic field in a wide range of frequencies (from several MHz to 18 GHz). One group of materials is represented by nonwovens based on polypropylene metallized with various metal alloys by the magnetron sputtering method in a plasma of an inert gas (argon). The best shielding effectiveness SE results (from 38 to 45 dB at a frequency of 27,12 MHz) were obtained for materials which have metallic layers (copper/tin Cu/Sn and copper/tin/nickel Cu/Sn/Ni). The lowest shielding effectiveness (in the range of 15–29 dB) was observed for materials with metallic layers: nickel/chrome Ni/Cr and nickel/copper/iron Ni/Cu/Fe for the same frequency.

The second group are knitted shielding materials. Depending on the structure and the conductive material used (silver-plated polyamide fibers, steel fibers), the shielding effectiveness of materials tested with the waveguide method in the frequency range 2,5–18 GHz is 30–47 dB and the transmission factor 0,01–0,1%. High shielding effectiveness and low PEM permeability at low surface mass and thickness, is essential in terms of possible applications of these materials, e.g. clothes, protective clothing and its elements, portable PEM screens for various applications.

Keywords: electromagnetic field, electromagnetic shielding, shielding effectiveness

1. Wstęp

Rozwój techniki, a w szczególności elektrotechniki i elektroniki, spowodował gwałtowny wzrost liczby urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne (PEM). Promieniowanie to może oddziaływać niekorzystnie na organizmy żywe oraz zakłócać działanie urządzeń i elementów elektronicznych i elektrotechnicznych. Ochrona człowieka przed szkodliwym działaniem pól elektromagnetycznych jest więc niezwykle ważna ze względu na ciągłe zwiększanie mocy i częstotliwości stosowanych urządzeń (np. urządzeń mikrofalowych, telefonów komórkowych, urządzeń telekomunikacyjnych i teleinformatycznych, systemy radarowe, grzejniki indukcyjne, medyczne urządzenia diagnostyczne i terapeutyczne) [1, 2].

W tym celu powinno się stosować niezbędne działania prewencyjne, np. używanie ekranów, ubiorów ochronnych, parawanów ekranujących i absorpcyjnych [3]. Stosowanie materiałów „barierowych” jest podstawą zarówno klasycznego ekranowania lokalizującego (tj. ekranowania źródła pola otaczającym go ekranem), jak i osłaniającego (tj. ekranowania stanowiska pracy ekranem usytuowanym jedynie przy nim), którego szczególnym przypadkiem jest ekranowanie pracownika za pomocą odzieży ochronnej. Wybór metody zmniejszenia narażenia zależy od właściwości źródła (elektromagnetycznych lub mechanicznych) i od cech obszaru, w którym należy zredukować pole elektromagnetyczne [4].

Stosowane ekrany jako obudowy (np. żelazne, niklowe, miedziane, stalowe itp.) cechują się dobrymi właściwościami ekranującymi, jednak duża gęstość i korozyjność w znacznym stopniu ogranicza ich wykorzystanie. W ostatnich latach poszukuje się więc nowych ekranów kompozytowych charakteryzujących się małą masą i niską ceną, przepuszczalnością powietrza i wody oraz unikalnymi właściwościami tłumiącymi pole elektromagnetyczne. Do ekranowania pola elektromagnetycznego stosuje się materiały włókiennicze o wysokiej przewodności elektrycznej, rzędu Ms/m. W celu uzyskania takich właściwości materiału włókienniczego do jego konstrukcji wprowadza się elementy elektroprzewodzące, np. ze stali, mosiądzu, srebra, miedzi, niklu. Do materiałów o właściwościach elektroprzewodzących zalicza się również włókniny wykonane z udziałem włókien metalowych lub węglowych, dzianiny, tkaniny, włókniny z naniesionymi metalami przy zastosowaniu metody plazmowej (np. rozpylanie magnetronowe) oraz różnego typu inne kompozyty włókiennicze [5–12].

Podstawowym parametrem charakteryzującym właściwości materiału ekranującego jest skuteczność ekranowania (SE) wyrażana wskaźnikiem osłabienia pola elektromagnetycznego występującego w określonym punkcie przestrzeni wskutek wprowadzenia materiału ekranującego (bariery) pomiędzy tym punktem a źródłem pola [4].

2. Włókninowe materiały chroniące przed działaniem pola elektromagnetycznego (PEM)

2.1. Urządzenie do procesu nanoszenia powłok metalicznych na materiały włókiennicze

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny w Łodzi posiada oryginalne urządzenie do osadzania powłok metali, stopów i tlenków metali na materiały włókiennicze metodą rozpylania magnetronowego. Koncepcja wykorzystania techniki magnetronowej oraz budowa urządzenia do tego celu powstała w Instytucie w ramach Projektu Envirotex współfinansowanego przez EPRR PO IG. Urządzenie to umożliwia nanoszenie cienkich powłok na różne materiały włókiennicze o szerokości 60 cm i długości do 10 metrów w układzie *roll to roll* (rys. 1).

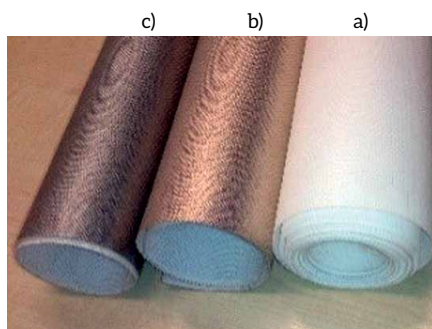
Metoda rozpylania magnetronowego jest metodą suchą, co jest zaletą ze względów środowiskowych (brak odpadów i zanieczyszczeń chemicznych).

2.2. Charakterystyka włókninowych materiałów chroniących przed działaniem PEM

Włókninowe materiały barierowe otrzymano, modyfikując powierzchnię włókniny polipropylenowej (PP), wykonanej techniką *spunbond* o grubości 0,73 mm i masie



Rys. 1. Urządzenie do nanoszenia powłok metalicznych na materiały włókiennicze metodą rozpylania magnetronowego



Rys. 2. Włóknina polipropylenowa przed (W/0) (a) i po naniesieniu powłok metalicznych zawierających stopy: miedź/cyna Cu/Sn (W1/A) (b) i miedź/cynk/nikiel Cu/Zn/Ni (W2/A) (c)

powierzchniowej 150 g/m² poprzez nanoszenie powłok metalicznych o różnym składzie chemicznym z wykorzystaniem urządzenia magnetronowego.

Na powierzchnię włókna PP osadzano powłoki następujących stopów metali: miedź/cyna (Cu/Sn), miedź/cynk/nikiel (Cu/Zn/Ni), nikiel/miedź/żelazo (Ni/Cu/Fe), nikiel/chrom (Ni/Cr) (rys. 2).

Wyniki efektywności tłumienia pola elektromagnetycznego oceniane na podstawie pomiarów skuteczności ekranowania (SE) prób włókninowych materiałów: bez powłoki metalicznej (W/0) i z powłokami metalicznymi (W1, 2, 3, 4/A, B, C) dla szerokiego zakresu częstotliwości (od kilkunastu MHz do ok. 2 GHz) zamieszczono w tabeli 1. Pomiar parametru skuteczności wykonano wg normy ASTM D4935-10 na Politechnice Wrocławskiej, a rezystancji powierzchniowej w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny wg normy PN-91/P-04871 Tekstylija.

Decydujący wpływ na skuteczność ekranowania ma rodzaj powłoki oraz warunki technologiczne jej naniesienia. Maksymalna skuteczność ekranowania otrzymanych materiałów barierowych przed PEM wynosiła od 38 do 45 dB (powłoka Cu/Sn i Cu/Zn/Ni) dla częstotliwości 27,12 MHz. Najniższą

Tabela 1. Wyniki badań skuteczności ekranowania oraz rezystancji elektrycznej powierzchniowej dla wybranych prób materiałów: włóknina PP wyjściowa (W/0) i z powłokami metalicznymi: (W1, 2, 3, 4/A, B, C) otrzymanymi dla różnych parametrów technologicznych procesu – przykładowe próby przedstawione na rysunku 2

Próba	Skuteczność ekranowania SE [dB] ¹					Średnia rezystancja pow. [Ω] ²
	27,12 MHz	97,75 MHz	434 MHz	915 MHz	1795 MHz	
bez powłoki						
W/0	0	0	0	0	0	>3,0·10 ¹³
powłoka (Cu/Sn)						
W1/A	45	43	39	39	38	1,84
W1/B	40	39	36	35	34	5,72
W1/C	41	39	36	36	35	6,02
powłoka (Cu/Zn/Ni)						
W2/A	38	36	33	33	32	5,35
W2/B	37	35	32	32	31	6,75
W2/C	32	30	27	27	26	8,63
powłoka (Ni/Cu/Fe)						
W3/A	23	22	19	18	18	14,2
W3/B	22	20	17	17	16	20,4
W3/C	29	27	23	23	22	7,16
powłoka (Ni/Cr)						
W4/A	15	13	11	11	10	29,9
W4/B	21	19	16	16	15	20,1
W4/C	17	16	13	13	13	23,9

1) metoda ASTM Standard D4935-10 Politechnika Wroclawska.

2) norma PN-91/P-04871 Tekstylija. Wyznaczanie rezystywności elektrycznej. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny.

skuteczność ekranowania w granicach 15–29 dB posiadały próby z powłokami: Ni/Cr i Ni/Cu/Fe dla tej samej częstotliwości. Dla prób o najlepszej skuteczności ekranowania wartość średnia rezystancji powierzchniowej wynosiła kilka omów. Na podstawie laboratoryjnych wyników badania efektywności tłumienia pola elektromagnetycznego można było wytypować próby o najlepszej skuteczności ekranowania i zastosować je do dalszych badań jako architektoniczne ekrany wewnątrz budynków.

2.3. Zastosowanie materiałów barierowych przed PEM jako ekrany w symulowanych warunkach rzeczywistych

W celu potwierdzenia wyników badań laboratoryjnych wykonano badania w warunkach modelowych – w specjalnie przygotowanym pomieszczeniu budowlanym („domku modelowym”). Wytypowane metalizowane włókna o najlepszych właściwościach tłumiących pole elektromagnetyczne umieszczono na odpowiednio przygotowanym podłożu każdej ze ścian wewnątrz pomieszczenia (rys. 3). Po zamontowaniu materiałów przeprowadzono pomiary tłumienia pola elektromagnetycznego dla wybranych częstotliwości.



Rys. 3. Pomieszczenie budowlane „domek modelowy” (1) z przykładowym sposobem montażu włókninowych materiałów wewnątrz pomieszczenia (2,3)

W badaniach odzwierciedlających warunki rzeczywiste najlepsze wyniki skuteczności ekranowania (SE) – 25 dB (wartość średnia) oraz 31 dB (wartość maksymalna) uzyskano dla częstotliwości 735,25 MHz (pasmo telewizji) oraz 25 dB (wartość średnia) i 45 dB (wartość maksymalna) dla częstotliwości 1849,20 MHz (pasmo telefonii komórkowej GSM).

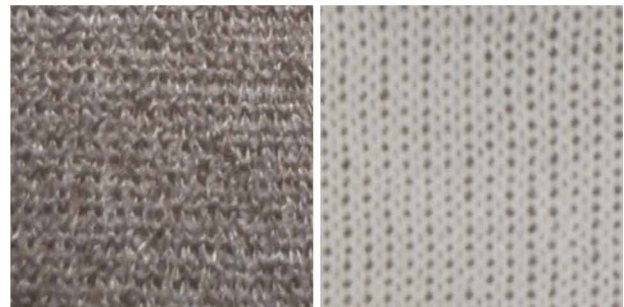
Na podstawie badań Instytutu Medycyny Pracy z Łodzi ustalono, że wystarczającym kryterium SE dla materiałów chroniących przed PEM w środowisku życia i pracy współczesnego

człowieka są wartości z zakresu 10–40 dB [13]. Zgodnie z wymaganiami normy tajwańskiej FTTS-FA-003 (2005) dla zastosowań ogólnych skuteczność ekranowania powyżej 30 dB uważana jest za doskonałą [14]. Z tego względu nowo opracowane kompozyty włókninowe spełniają założone kryteria.

3. Dziane materiały chroniące przed działaniem PEM

Dziane materiały ekranujące, charakteryzujące się rozbudowaną powierzchnią i przestrzenną strukturą, uzyskano przez dobór odpowiednich splotów oraz zróżnicowanych surowców kondukcyjnych.

Dzianina D1 to rządkowa dzianina dystansowa dwuwarstwowa, o masie powierzchniowej 153 g/m² i grubości 1,06 mm, w której jedna warstwa utworzona jest z ciągłych posrebrzanych włókien poliamidowych dtex110f34, a druga z ciągłych włókien poliestrowych dtex167f32. Warstwy połączone są multiflamentową przędzą poliamidową dtex33f10 (rys. 4). Zawartość włókien przewodzących w dzianinie wynosi 62 g/m² (40,5%).



Rys. 4. Dzianina D1

Dzianina D2 to rządkowa dzianina dwuwarstwowa, o masie powierzchniowej 281 g/m² i grubości 1,22 mm, której jedna warstwa wykonana jest z ciągłych posrebrzanych włókien poliamidowych dtex110f34, a druga z mieszkankowej przędzy

poliestrowej z 20% udziałem odcinkowych włókien stalowych tex20x2 (rys. 5). Zawartość włókien przewodzących w dzianinie wynosi odpowiednio dla włókien poliamidowych posrebrzanych 64,3 g/m² (22,9%), a dla włókien stalowych 43,3 g/m² (15,5 %).



Rys. 5. Dzianina D2

Do pomiaru tłumienności PEM wykorzystana została metoda pomiarowa z aplikatorem falowodowym, z możliwością niezależnego określania wartości współczynnika odbicia i transmisji. Badania przeprowadzone zostały w akredytowanym Laboratorium Badań Radiolokacji, Systemów Dowodzenia, Walki Radioelektronicznej i Techniki Mikrofalowej Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia w Zielonce wg procedury badawczej LR.PB.18 „Pomiar częstotliwościowej charakterystyki współczynnika odbicia i transmisji”. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

Efekt ekranujący dzianin wynika głównie ze zjawiska odbicia fali elektromagnetycznej na granicy ośrodków propagacji fali elektromagnetycznej. Tłumienie odbicia jest niewielkie i wynosi ok. 3 dB. W zależności od struktury materiału, zastosowanego surowca kondukcyjnego i zakresu częstotliwości skuteczność ekranowania dzianych materiałów, badana metodą falowodową w obszarze częstotliwości 2,5–18,0 GHz, wynosi w różnych jego zakresach 30–47 dB. Udziały procentowe współczynników transmisji, odbicia i tłumienia wtrąconego PEM dla dzianiny D1 kształtują się odpowiednio: 0–0,02%, 89–93% oraz 7–11%, natomiast dla dzianiny D2 0,01–0,1%, 76–91% oraz 9–24% w zależności od zakresu częstotliwości.

Tabela 2. Wyniki badań skuteczności ekranowania SE oraz współczynników transmisji, odbicia i absorpcji PEM dla dzianin

Oznaczenie	Częstotliwość [GHz]	Skuteczność ekranowania [dB]	Składowe skuteczności ekranowania [%]		
			Wsp. transmisji	Wsp. odbicia	Tłumienie wtrącone
D1	2,5–8,0	47,0	0,00	89,13	10,87
	8,0–12,0	40,0	0,01	91,20	8,79
	12,0–18,0	37,5	0,02	93,33	6,66
D2	2,5–8,0	40,0	0,01	91,20	8,79
	8,0–12,0	30,0	0,10	79,43	20,47
	12,0–18,0	32,5	0,06	75,86	24,09

UWAGA: Spadek skuteczności ekranowania w miarę wzrostu częstotliwości jest spowodowany łatwiejszym przenikaniem fal EM (odpowiednio o coraz mniejszej długości) przez prześwity siatek przewodzących w strukturach tych materiałów.

Wyniki badań wykazały, że opracowane struktury dzianin D1 i D2 spełniają wymagania kryterium skuteczności ekranowania materiałów barierowych dla PEM występujących w środowisku życia i pracy współczesnego człowieka opracowane w Instytucie Medycyny Pracy z Łodzi oraz wymagania tajwańskiej normy FTTS-FA-003 (2005) [13, 14].

W związku z tym stosowane mogą być na ubrania, odzież ochronną, fartuchy oraz stanowić mogą lekkie, trwałe, elastyczne, łatwe do transportu, instalacji i składowania przenośne ekrany PEM dla różnych zastosowań użytkowych.

4. Wstępne wyniki badań skuteczności ekranowania modyfikowanych struktur dzianinowych 3D

Na zróżnicowane strukturalnie materiały dzianinowe 3D nanoszono powłoki miedzi (Cu) zarówno na ich powierzchnie, jak i w całej objętości metodą rozpylania magnetronowego.

Próba Pr1 to dzianina osnowowa ażurowa o masie powierzchniowej 167 g/m² i grubości 0,57 mm, wykonana z przędzy poliestrowej z udziałem nitok elastomerowych.

Próba Pr2 to osnowowa dzianina dystansowa 3D, o masie powierzchniowej 312 g/m² i grubości 3,11 mm, wykonana z przędzy i monofilamentu poliestrowego. Jedną z warstw zewnętrznych dzianiny jest ażurowa (wzdłużne paski), natomiast druga warstwa zewnętrzna jest gładka.

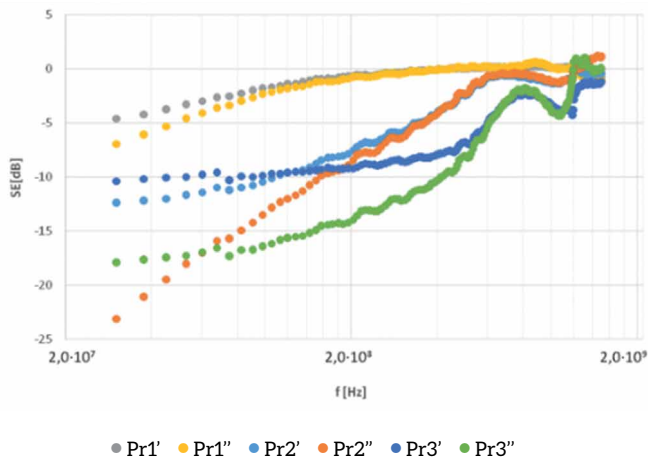
Próba Pr3 to osnowowa dzianina dystansowa 3D, o masie powierzchniowej 876 g/m² i grubości 8,71 mm. Ażurowe warstwy zewnętrzne dzianiny wykonane są z poliestrowej przędzy multifilamentowej, natomiast warstwa wewnętrzna wykonana jest z monofilamentu.

Metalizowane jedno- lub obustronnie struktury poddano badaniom pomiaru skuteczności ekranowania w zakresie częstotliwości od kilku MHz do ok. 2 GHz wg normy ASTM D4935-10. Zamieszczone na wykresie wyniki przedstawiają wpływ powłok metalicznych na skuteczność ekranowania materiału kompozytowego w zależności od częstotliwości (rys. 6).

We wszystkich zbadanych próbkach zaobserwowano zmniejszenie skuteczności ekranowania wraz ze wzrostem częstotliwości aż do wartości maksymalnej wynoszącej 2 GHz. W każdym przypadku zaobserwowano większą skuteczność ekranowania dla dzianin z obustronnymi powłokami metalicznymi. Najlepszy wynik skuteczności ekranowania 28 dB dla częstotliwości 20 MHz uzyskano dla dzianiny dystansowej jednostronnie ażurowej z powłoką miedzi naniesioną na dwie strony materiału (Pr2”).

5. Podsumowanie

W ramach projektów prowadzonych w Sieć Badawczą Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny opracowano włókiennicze materiały chroniące przed działaniem pola elektromagnetycznego (PEM) w szerokim zakresie częstotliwości (od kilkunastu MHz do 18 GHz). Jedną z grup materiałów stanowią włókniny na bazie polipropylenu pokryte powłokami metalicznymi osadzonymi metodą rozpylania magnetronowego w plazmie gazu obojętnego (argonu). Najlepsze efekty tłumienia pola elektromagnetycznego (SE = 35–45 dB) uzyskano dla powłok zawierających stopy metali (miedź/cyna Cu/Sn i miedź/



- Pr1' - dzianina płaska z powłoką Cu po jednej stronie materiału
- Pr1'' - dzianina płaska z powłoką Cu po dwóch stronach materiału
- Pr2' - dzianina dystansowa jednostronnie ażurowa z powłoką Cu po jednej stronie materiału
- Pr2'' - dzianina dystansowa jednostronnie ażurowa z powłoką Cu po dwóch stronach materiału
- Pr3' - dzianina dystansowa dwustronnie ażurowa z powłoką Cu po jednej stronie materiału
- Pr3'' - dzianina dystansowa dwustronnie ażurowa z powłoką Cu po dwóch stronach materiału

Rys. 6. Wykres zależności skuteczności ekranowania od częstotliwości dla dzianin 3D z powłokami miedzi po jednej i po obu stronach

cynk/nikiel Cu/Zn/Ni) w przedziale częstotliwości od kilkunastu MHz do ok. 2 GHz. Badania w symulowanych warunkach rzeczywistych potwierdziły ich przydatność w ekranowaniu architektonicznym wewnątrz pomieszczeń budowlanych.

Opracowane dziane materiały ekranujące charakteryzują się przestrzenną, dwuwarstwową strukturą uzyskaną przez dobór odpowiednich splotów. W zależności od struktury oraz zastosowanego surowca kondukcyjnego (posrebrzane włókna poliamidowe, włókna stalowe) skuteczność ekranowania materiałów, badana metodą falowodową w obszarze częstotliwości 2,5–18 GHz, wynosi 30–47 dB, a współczynnik transmisji 0,01–0,1%. Wysoka skuteczność ekranowania oraz niska przenikalność PEM przy niskiej masie powierzchniowej i grubości ma zasadnicze znaczenie w zakresie możliwych obszarów zastosowań tych materiałów. Stosowane mogą być na ubrania, odzież ochronną, fartuchy oraz stanowić mogą lekkie, trwałe, elastyczne, łatwe do transportu, instalacji i składowania przenośne ekrany PEM dla różnych zastosowań użytkowych.

Literatura

- [1] ZIAJA J.: *Cienkowarstwowe struktury metaliczne i tlenkowe. Właściwości, technologia, zastosowanie w elektrotechnice*. Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2012.
- [2] OZIMEK M., WILCZYŃSKI W.: *Zastosowanie cienkich warstw Ni-Fe w ekranowaniu pól elektromagnetycznych*. Prace Instytutu Elektrotechniki, Zeszyt 241, 2009.
- [3] SZUGAJEW L., JARZEMSKI J.: *Niektóre aspekty konstrukcji powłok ekranujących i absorpcyjnych. Część I*. „Problemy Techniki Uzbrojenia”, R. 36, z. 103, 2007.
- [4] GRYZ K., KARPOWICZ J., KURCZEWSKA A., STEFKO A.: *Ograniczenie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych – przegląd wybranych materiałów barierowych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 3/2009.
- [5] FOITZIK R.C., KAYNAK A., PFEFFER F.M.: *Conductive poly(α,ω -bis(3-pyrrolyl)alkanes)-coated wool fabrics*. *Synthetic Metals* 157, 2007.
- [6] SARTO M.S., VOTI LI R., SARTI F., LARCIPRETE M.C.: *Nanolayered Lightweight Flexible Shields with Multidirectional Optical Transparency*. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 47, 3, 2005.
- [7] XIANG Y., CHENGBIAO W., YANG L., DEYANG Y., TINGYAN X.: *Recent Developments in Magnetron Sputtering*. „Plasma Science & Technology”, vol. 1.8, 3, 2006.
- [8] RESZKA K., DOBRUCHOWSKA E., KOPROWSKA J., WIŚNIEWSKI B.: *Surface Modification of Polypropylene Nonwoven with Composite Metallic Layers*. „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 19, No. 4, 2012.
- [9] ZIAJA J., JAROSZEWSKI M., LEWANDOWSKI M., SASUŁA M.: *Elastyczne materiały stosowane w technice ekranowania pola elektromagnetycznego*. „Przegląd Elektrotechniczny” R. 94, Nr 10/2018.
- [10] WIŚNIEWSKI B., FILIPOWSKA B., WILK E.: *Włókiennicze materiały barierowe chroniące przed działaniem pola elektromagnetycznego (PEM)*. „Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich”, Nr 1(84)/2019.
- [11] BRZEZIŃSKI S., RYBICKI T., KARBOWNIK I., MALINOWSKA G., ŚLEDZIŃSKA K.: *Textile materials for electromagnetic radiation shielding made with the use of nano- and micro-technology*. „Central European Journal of Physics” 10(5), 2012.
- [12] BRZEZIŃSKI S., RYBICKI T., KARBOWNIK I., ŚLEDZIŃSKA K., KRAWCZYŃSKA I.: *Usability of a Modified Method for Testing Emissivity to Assess the Real Shielding Properties of Textiles*. „Fibres & Textile in Eastern Europe”, 18(5), 2010.
- [13] Prace Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi.
- [14] FTTS-FA-003 „Specified Requirements of Electromagnetic Shielding Textiles”, www.ftts.org.tw, dostęp: 02.2020.

Informacje dodatkowe

Badania prowadzono na aparaturze zakupionej i wytworzonej w ramach projektów kluczowych Envirotex POIG nr 01.03.01-10-006/08 i Nanomitex POIG nr 01.03.01-00-004/08. Część badań wykonano w ramach pracy statutowej prowadzonej w Instytucie.

dr inż. Błażej Wiśniewski,

e-mail: katarzyna.sledzinska@lit.lukasiewicz.gov.pl

dr inż. Katarzyna Śledzińska,

e-mail: katarzyna.sledzinska@lit.lukasiewicz.gov.pl