

Surowce o właściwościach elektroprowadzących w wyrobach wysokospecjalistycznych

I.A. Król, G. Redlich, E. Obersztyn, K. Fortuniak,

E. Maklewska, M. Olejnik, A. Bartczak

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Publikacja powstała w ramach realizacji Projektu WND-POIG 01.03.01-00-006/08 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

Wstęp

Podstawowym czynnikiem warunkującym rozpoznanie obiektu np. ludzi, środków transportu lub obiektów stałych w zakresie radiolokacji jest możliwość rejestracji generowanego przez nadajnik sygnału po jego odbiciu od tego obiektu. Intensywność odbicia zależy, między innymi od materiału, z którego wykonany jest obiekt, kształtu obiektu oraz jego zorientowania przestrzennego względem stacji radiolokacyjnej. Czynniki te określają tzw. skuteczną powierzchnię odbicia obiektu, której wartość rzutuje na możliwość jego wyróżnienia z tła przez daną stację. Można ogólnie powiedzieć, że przy niezmiennych innych warunkach rozpoznania obiekt o większej skutecznej powierzchni odbicia jest łatwiej wyróżniany z tła. W celu przeciwdziałania temu zjawisku, to jest dla uzyskania efektu maskowania w zakresie radiolokacyjnym poprzez zmniejszenie skutecznej powierzchni odbicia stosowane są, między innymi różnego typu osłony niezwiązane bezpośrednio z obiektem, wykonane z materiałów o dużej stratności [1].

Z przeprowadzonego wcześniej w ramach prac w Projekcie Kluczowym POIG.01.03.01-00-006/08 – „Barierowe materiały nowej generacji, chroniące człowieka przed szkodliwym działaniem środowiska” rozeznania [2-6] wiadomo, że wiodący producenci pokryć antyradiolokacyjnych w swoich materiałach włókienniczych o tych właściwościach stosują surowce gwarantujące duże stratności. Należą do nich, między innymi metale: w postaci włókien, przędz, folii, itp. oraz węgiel lub jego odmiany.

Z przeprowadzonej analizy opisów patentów wynika, że istnieje szereg materiałów do maskowania antyradiolokacyjnego, zawierających w swojej strukturze różnego rodzaju surowce elektroprowadzące min: materiał maskujący z naniesioną metaliczną warstwą, tj. aluminium, miedź, cynk lub stopy zawierające te pierwiastki (US4495239), wielowarstwowy zestaw maskujący (DE3123754), dwuwarstwowy

antyradiolokacyjny materiał z warstwą przewodzącą pokrytą cienkim filmem z polimeru przewodzącego (WO2009017520), zestaw do dezinformacji składający się z metalowych elementów oraz pokrycia (FR2716962), mata maskująca w której strukturze i/lub na jej powierzchni znajduje się węgiel i metal (US4287243), materiał maskujący antyradiolokacyjny nieposiadający apreturę z aluminium (KR960009023), tkanina maskująca z przędzy poliamidowej stanowiącej oplot dla włókien metalowych (KR920004614), materiał pochłaniający promieniowanie mikrofalowe z warstwą metalową zawierającą aluminium, grafit, sadzę, lub półprzewodniki (GB1074898), płaski maskujący materiał włókienniczy zawierający włókna barwione sadzą (345298), materiał do wytwarzania efektu barierowego z nitkami zawierającymi miedź, cynk, krzem (357361), wyrób powlekany o dopasowanej niskiej emisyjności z warstwą składającą się lub zawierającą srebro (368030), materiał odbłaskowy dla podczerwieni z membraną zawierającą powłoczenie metaliczne (184548), multispektralna sieć z przędzy z włókien metalowych (WO2008060251), nowatorski materiał wykonany techniką tkacką lub dziewiarską z włókien syntetycznych zawierających sadzę (WO2007070539), sieć maskująca zawierająca przędze przewodzące lub platerowane (WO2007069803), system przeznaczony do maskowania z metaliczną powierzchnią (EP1734331), materiał maskujący z cienką warstwą metalową (JP2006308258), wielowarstwowy materiał maskujący o wykończeniu z zastosowaniem metali (JP2006300480), zestaw materiałów o właściwościach maskujących z pigmentami nanoszonymi razem z wykończeniem stanowiącym sadzę i tlenki metali (WO03045685), materiał maskujący z warstwą metalową (EP0947798), materiał maskujący z cząstkami metalu oraz pigmentu maskującego (JP11063893), materiał maskujący z filmami: metalowym, z udziałem półprzewodnika, i dielektryka (JP8110195), wielowarstwowe pokrycie maskujące z warstwą metalizowaną (EP0633447).

W artykule omówiono różnego typu surowce z elementami metalowymi lub węglowymi, które mogą stanowić potencjalną bazę wyjściową do produkcji materiałów włókienniczych przeznaczonych do maskowania antyradiolokacyjnego.

Definicje

Płaskie wyroby włókiennicze typu tkaniny, dzianiny lub włókniny o właściwościach elektroprzewodzących produkowane są z zastosowaniem włókien i przędz metalowych lub metalizowanych, surowców zawierających węgiel oraz wytwarzanych z polimerów przewodzących.

Zgodnie z definicją amerykańskiej Komisji Handlu zapisaną w Ustawie Identyfikacji Produktów Tekstylnych [7] włókna metalowe to włókna składające się z metalu, tworzywa sztucznego powleczonego metalem lub rdzenia całkowicie pokrytego metalem.

Natomiast włókna lub przędze metalizowane powstają w wyniku:

- wprowadzenia metalu w skład włókien syntetycznych;
- nasycania powierzchni przędzy roztopionym metalem;
- naniesienia powłoki metalicznej na powierzchnię przędzy;
- połączenia włókien lub przędz metalowych z innymi przędzami;
- wprowadzenia do wnętrza lub na powierzchnię włókien lub przędzy dodatków przewodzących w postaci sadzy, grafitu itp. [8-9,11-12].

Osobną grupę stanowią włókna i przędze węglowe. Są one wytwarzane poprzez utlenianie i pirolizę termiczną włókien poliakrylonitrylowych. Najnowszym osiągnięciem nauki i przemysłu w tej dziedzinie są nanowłókna i nanorurki węglowe.

Przędze z udziałem włókien metalowych

Włókna i przędze metalowe wytwarza się, przede wszystkim ze stali, srebra oraz z miedzi, mosiądzu i niklu. Włókna metalowe to cienkie druciki o grubości od 0,005 do 0,3 mm o różnych przekrojach (okrągłe, owalne, trójkątne i inne). Mogą być proste, skręcone lub zwinięte spiralnie, o powierzchni polerowanej, gładkiej, matowej i o różnym stopniu szorstkości. Mogą być również powlekane innym metalem [8-9,14-15].

Obecnie najpowszechniej dostępnymi w handlu są włókna i przędze stalowe (Przewodzące przędze stalowe o ograniczonej skręcalności WO2009147115; Przewodzące przędze stalowe WO2003095724; US7291391B2).

Do ich największych producentów zalicza się takie firmy jak:

- Bekaert Fibre Technologies (Belgia) [10, 16-18] – firma ta specjalizuje się w produkcji włókien i przędz metalowych z czystych metalurgicznie stopów. Są one wytwarzane w postaci włókien ciągłych i ciętych o średnicy od 2÷100 µm wykorzystywanych do produkcji przędz 100 % metalowych lub mieszankowych z włóknami syntetycznymi lub naturalnymi. Przykładem produktu tej firmy jest przędza Bekinox®VN składająca się z 90 filamentów ze 100% stali nierdzewnej 304L o średnicy 14 µm. Charakteryzuje się ona wysoką elastycznością i trwałą przewodnością właściwą ~1 Ω/cm (Rys.1).



Rys. 1. Przędza Bekinox®VN [18]

- Ugitech (Francja), dawniej Sprint Metal [19] – firma ta produkuje włókna ze 100% stali nierdzewnej o nazwie handlowej SPRINOX®. Ich standardowa średnica to 8 µm lub 12 µm.
- R-Stat (Francja) [20] – to wytwórca przewodzących włókien ze 100% stali nierdzewnej 316L, która jest stopem o składzie: 68% żelazo, 18% chrom, 12% nikiel i 2% molibden. Ich handlowa nazwa to R-Stat/S. Właściwości włókien R-Stat/S przedstawiono w tabeli 1.
- Nippon Seisen Co., Ltd (Japonia) [21] – to firma produkująca ultra cienkie włókna stalowe o średnicy 2÷50 µm o nazwie handlowej NASLON. Charakteryzują się one odpornością na działanie wysokich temperatur, dobrą przewodnością elektryczną oraz odpornością na korozję. Są giętkie i elastyczne, co ułatwia ich dalszy przerób (m.in. wytwarzanie tkanin, dzianin, włóknin) (Rys. 2).



Rys. 2. Włókno NASLON [21]

Tabela 1. Właściwości włókien stalowych R-Stat/S

Średnica [μm]	Masa liniowa [dtex]	Przewodność właściwa [Ω/cm]	Wytrzymałość [cN]	Wydłużenie [%]
8	4	150÷170	7,5±10%	1
12	9	60÷80	18±10%	1
22	30	10÷30	55±10%	1

- Koolon Fiber Technology Co. (Chiny) [22] – firma ta oferuje włókna i przędze wytwarzane ze stali nierdzewnych 304 i 316L o średnicy od 12÷14 μm . Ich przewodność właściwa wynosi 2÷50 Ω/m .
- Fibretech (Wielka Brytania) [23] - wyróżnikiem włókien stalowych oferowanych przez firmę pod nazwą handlową FIBREX HT jest surowiec bazowy stosowany do ich produkcji. Unikalny stop z nowym dodatkiem węglikiem nie-chromowym wynoszącym nie więcej niż 6% udziału innych pierwiastków stopowych wpływa na poprawę właściwości włókien z niego otrzymywanych. W porównaniu z włóknami ze stali 446 i 430 charakteryzują się one lepszym przewodnictwem elektrycznym, odpornością na utlenianie, wytrzymałością i plastycznością.
- firmę Ugitech (Francja), dawniej Sprint Metal [19] – produkującą włókna SPRINOX[®], które są surowcem wyjściowym do wytwarzania przędzy metalizowanej POLYNOX[®] tj. przędzy mieszkankowej poliestrowo-stalowej o udziale odpowiednio 80/20, 60/40, 85/15 włókien składowych (Rys. 4).



Rys. 4. Przędza POLYNOX[®] [19]

Włókna i przędze metalizowane

Włókna i przędze metalizowane (Przewodzące przędze metalizowane USS927060; US4776160) można podzielić na:

- łączone mechanicznie (np. poprzez skręcanie) z innymi włóknami i przędzami,
- powierzchniowo metalizowane,
- zawierające wewnątrz lub na powierzchni różne dodatki przewodzące takie jak: sadzę, grafit, metale, półprzewodniki [8].

Są one oferowane przez:

- firmę Bekaert Fibre Technologies (Belgia), specjalizującą się głównie w produkcji włókien i przędz metalowych. W jej ofercie znajdują się również przędze metalizowane powstające poprzez mieszanie włókien stalowych o długości 2,5 cm z ciętymi włóknami: poliestrowymi - Bekinox[®]BK 50 (Rys. 3) i poliamidowymi Bekinox[®]LT. Przędze te charakteryzują się 20 % zawartością włókien stalowych [17-18].



Rys. 3. Przędza Bekinox[®]BK [18]

Do włókien i przędz metalizowanych otrzymywanych metodą nanoszenia chemicznego lub w łuku elektrycznym zaliczane są produkty następujących firm, w tym:

- Noble (USA) [24, 25] – produkuje przędzę o nazwie handlowej X-STATIC[®], która jest antystatyczna i termoregulacyjna. Posiada zdolność absorpcji wyładowań statycznych i elektrycznych. Jest wytwarzana z jedwabiu poliamidowego (85%) pokrytego warstwą czystego srebra w ilości 15% (Rys. 5).



Rys 5. Przędza X-STATIC[®] [25]

- Statex Production & Vertriebs GmbH [26] – firma ta produkuje przędze metalizowane o nazwie handlowej SHIELDDEX[®], wytwarzane poprzez polewanie jedwabiu poliamidowego 6.6 99% srebrem. Są one stosowane w wyrobach zabezpieczających, między innymi, przed promieniowaniem podczerwonym i falami radarowymi (Rys. 6).



Rys. 6. Włókno SHIELDEX® [26]

- R-Stat (Francja) [20] – jest firmą produkującą, między innymi, włókna poliamidowe cięte i ciągłe z otoczką ze srebra o nazwie handlowej Silver STAT® (Rys. 7).



Rys. 7. Włókno Silver STAT® [20]

Firma wytwarza włókna poliamidowe (poliamid 6.6) z wtopioną chemicznie w ich zewnętrzną powierzchnię warstwę o grubości 0,2 μm z siarczku miedzi o nazwie handlowej R.STAT/N. Warstwa siarczku miedzi, jednorodnie włączona w strukturę polimeru włókna, zapewnia stałość uzyskanych tą metodą właściwości nawet po wielu latach stosowania w normalnych warunkach temperatury i wilgotności (Rys. 8).



Rys. 8. Włókno R.STAT/N [20]

Włókno R.STAT/P [10, 20] – jest produkowane tak samo jak R.STAT/N tj. otoczka siarczku miedzi o grubości 0,2 μm nanoszona jest metodą chemiczną na rdzeń, w tym przypadku – wysokowytrzymałe włókno poliestrowe (Rys. 9).



Rys. 9. Włókno R.STAT/P [20]

- Bekaert Fibre Technologies (Belgia) [16, 18] – firma ta oferuje przędzę o nazwie handlowej ARACON®. Rdzeń włókna stanowi paraamid (Kevlar®), a otoczkę srebro. Przędza o przewodności właściwej $\sim 0,001 \Omega/\text{cm}$ „zbudowana” jest z 24÷200 przewodzących włókien o średnicy 15 μm każdy. Posiada bardzo dobre właściwości mechaniczne i elektryczne nawet w wysokich temperaturach.
- Swiss Shield EMI (Szwajcaria) [27] – produkuje tkaniny o nazwie handlowej SWISS SHIELD® z zastosowaniem przędzy poliestrowej metalizowanej srebrem. Rekomendowana jest, jako zabezpieczenie centrów dowodzenia i ambasad oraz ochrona przed NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse) i HPM (High Power Microwave).

Polskie włókna elektroprzewodzące uzyskiwane są sposobem koordynacyjnego wiązania siarczku miedzi z grupami funkcyjnymi włókien bazowych:

- nitylowych w przypadku poliakrylonitrylu – to Nitril-Static Instytutu Włókiennictwa [13, 16]; EURO-Static firmy Europa NCT Sp. z o.o. (Rys. 10) [28],



Rys. 10. Włókno EURO-Static [28]

- amidowych w przypadku poliamidu - Amid-Static, Instytutu Włókiennictwa [13].

Włókna zawierające wewnątrz lub na powierzchni różne dodatki elektroprzewodzące

Innym kierunkiem otrzymywania włókien elektroprzewodzących jest wprowadzenie węgla w ich strukturę (otoczka lub rdzeń). Przykładami tego typu związków są następujące produkty:

- Epitropic firmy Epitropic Fibers Ltd (Wielka Brytania) [29] – to włókna poliestrowe z otoczką z cząstek węgla. Ich przewodność właściwa wynosi $10 \div 100 \text{ M}\Omega/\text{cm}$.
- Resistat® i Sanstat® firmy Shakespeare Conductive Fibers (USA) [30] – to włókna poliamidowe z otoczką węgla nanoszonego metodą sufozji chemicznej opatentowanej przez firmę BASF (USA). Ich przewodność właściwa wynosi $103 \div 108 \Omega/\text{cm}$.
- Clacarbo – firmy Kuraray Co. Ltd (Japonia) [31] – to włókna, których bazę stanowi filament poliamidowy lub poliestrowy o specjalnej strukturze zawierający elektroprzewodzący węgiel.
- Smartcel™ to nazwa handlowa włókien celulozowych z cząstkami węgla (również w wariantach z jonami srebra oraz węglikiem krzemu) produkowanych przez firmę Smart Fiber AG (Niemcy) (Rys.11) [32]. Są one wytwarzane według specjalnie opracowanej technologii umożliwiającej w sposób homogeniczny przyłączenie cząstek węgla do włókna celulozowego. Dzięki temu uzyskują one nowe właściwości takie jak np. przewodność elektryczna.



Rys. 11. Włókno Smartcel™ [32]

Przędze z włókien węglowych

Ich główni producenci to: Toray Industries (Japonia) [33], Toho Tenax (Japonia) [34], Mitsubishi (Japonia) [35], Hexcel (USA) [36], Cytec Industries (USA) [37], Schunk Gruppe (Niemcy) [38]. Do włókien, w których komponentem przewodzącym są związki węgla, należą takie włókna jak:

- Enkastat (Niemcy),
- Toray SA-7 (Japonia),
- Antron (USA),
- Belltron® (Japonia) (Rys.12) [8-9,18],



Rys. 12. Włókno Belltron® [18]

- Pyromex® (Japonia) (Rys. 13) [34].



Rys. 13. Włókno Pyromex® [34]

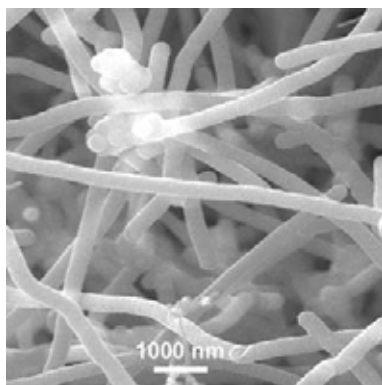
Nanowłókna i nanorurki węglowe

Nanowłókna, czyli ultracienkie włókna o średnicy $\leq 100 \text{ nm}$ charakteryzują się wyjątkowo dużym polem powierzchni właściwej [39]. Cecha ta sprawia, że produkty z nich wykonane posiadają wyjątkowe właściwości mechaniczne, elektryczne i chemiczne. Nanowłókna węglowe (CNFS) produkowane są metodą elektroprzędzenia przez firmę Nanostructured & Amorphous Materials Inc. (USA). Posiadają następujące właściwości: czystość 95%, średnicę $80 \div 200 \text{ nm}$, długość $0,5 \div 20 \text{ }\mu\text{m}$, gęstość $1,9 \text{ g/dm}^3$, rezystywność elektronową $0,75 \div 0,1 \Omega \times \text{cm}$ ($20 \div 180 \text{ MPa}$) (Rys. 14) [40].

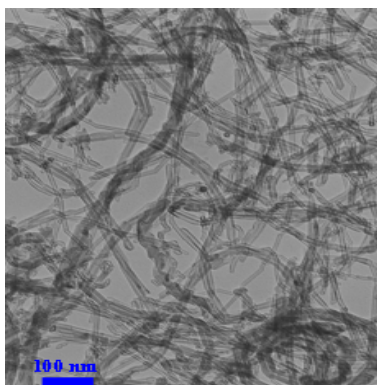
Natomiast grafitowane nanowłókna węglowe tej samej firmy cechują następujące parametry: czystość 99,8%, średnica $80 \div 200 \text{ nm}$, długość $10 \div 40 \text{ }\mu\text{m}$, gęstość $1,9 \text{ g/dm}^3$, rezystywność elektronowa $0,75 \div 0,1 \Omega \times \text{cm}$ ($20 \div 180 \text{ MPa}$) (Rys. 15) [40].

W/w rodzaje nanowłókien węglowych mogą być stosowane, między innymi w:

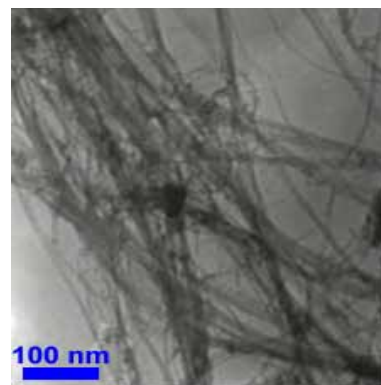
- nanokompozytach włókno/polimer dla podwyższenia wyrobowi finalnemu przewodnictwa elektrycznego i wytrzymałości,
- zabezpieczeniach przed promieniowaniem elektromagnetycznym.



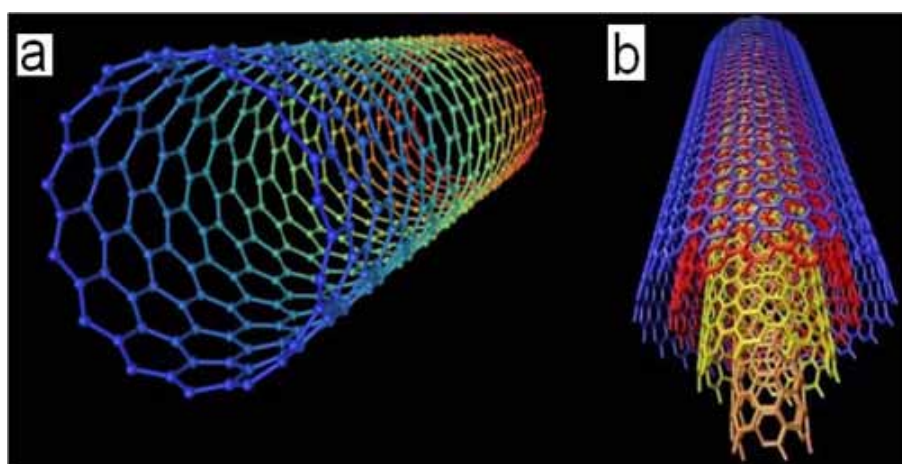
Rys.14. Nanowłókna węglowe [40]



Rys.15. Grafityowane nanowłókna węglowe [40]



Rys.16. Nanorurki węglowe jednościenne[40]



Rys. 17. Uproszczony wzór strukturalny (a) jednościennej, SWCNT; i (b) wielościennej nanorurki węglowej, MWCNT [39, 41-42]

W odróżnieniu od nanowłókien, nanorurki węglowe (Rys.16) (CNT) [39, 41-42] są makrocząsteczkami o kształcie cienkich wielościennej cylindrów i strukturze grafitu (Rys. 17). Cechują się znaczną przewodnością elektryczną i stabilnością chemiczną.

Nanorurki są jednymi z najwytrzymalszych i najsztywniejszych znanych materiałów. Wykazują niezwykłą wytrzymałość na rozrywanie i unikatowe właściwości elektryczne (mogą być one przewodnikami lub półprzewodnikami w zależności od ułożenia linii wiązań wzdłuż albo w poprzek nanorurki; teoretycznie mogą przewodzić prąd o 1000-krotnie większym natężeniu niż przewody metalowe o analogicznej masie). Są również znakomitymi przewodnikami ciepła. Cechują się dużą stabilnością chemiczną i bardzo dużą zdolnością do elastycznych i odwracalnych odkształceń pod wpływem sił ściskających lub zginających, co wynika z elastyczności i „pustej” struktury, przy czym właściwości nanorurek zależą też od ich skrętności. Nanorurki nie są natomiast wytrzymałe na zgniatanie. Materiały te jednak wciąż są w fazie opracowań,

a koszt ich wytwarzania jest nadal bardzo wysoki [39,43]. Są wytwarzane z zastosowaniem metody CVD (chemicznej krystalizacji z fazy gazowej). Nanorurki węglowe jednościenne (SWCNT) (Rys.16) oferowane przez firmę Nanostructured & Amorphous Materials Inc. [40] posiadają następujące właściwości:

- czystość 50%,
- średnicę wewnętrzną 1 ± 2 nm,
- długość 5 ± 30 nm,
- pole powierzchni właściwej $400 \text{ m}^2/\text{g}$.

Aktualnie na świecie prowadzone są badania nad wytworzeniem przędz wyłącznie z nanorurek. Zakłada się, że będą one charakteryzowały się lepszymi właściwościami w porównaniu do przędz dotychczas wytwarzanych [39]. Coraz szersze zastosowanie w nowoczesnych technologiach znajdują również polimery z pamięcią kształtu, do których wprowadzane są nanorurki węglowe. Charakteryzuje je: lekkość konstrukcji, mała sztywność i dobra podatność na kształtowanie [44].

Literatura:

1. Maskowanie wojsk w świetle doktryny obronnej RP - Materiały konferencyjne z Seminarium, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, Warszawa 10/1994
2. Materiały informacyjne firmy Saab Group, 2009
3. Materiały informacyjne firmy Intermat Group SA, 2009
4. Materiały informacyjne firmy Oztetekstil, 2009
5. Materiały informacyjne firmy SHCB-Suzhou SHCB Camouflage Net & Tent Co, 2009
6. Materiały informacyjne firmy Miranda Sp. z o.o., 2009
7. www.ftc.gov
8. Idzik M.: Przędze metalowe i metalizowane, Przegląd Włókienniczy + Technik Włókienniczy, 11/2002, str. 11-12
9. Hałaszczyk L., Filipowska B.: Kryteria doboru włókien i przędz elektroprzewodzących na odzież ochronną oraz możliwości uzyskania tego typu wyrobów, Przegląd Włókienniczy + Technik Włókienniczy, 4/1999, str.13-14
10. Butler N.: Textile North America – fibers, transport and protection, Technical Textiles International, 08/2002
11. Antimicrobial Technologies for the Warfighter, US Army Natick Soldier Center Fact Sheet, 3/2006
12. Jowers K.: Silver fibers help fabric fight disease, odor, Army Times, 8/2006
13. Gryz K., Karpowicz J., Kurczewska A., Stefko A., Smalcerz A.: Ograniczenie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (3) - przegląd wybranych materiałów barierowych, Bezpieczeństwo pracy - nauka i praktyka, 3/2009, str. 22-26
14. Clin J.: Survival of Enterococci and Staphylococci on Hospital Fabrics and Plastic, Microbiol.2000/38, str. 724-726
15. Okoniewski M.: Włókna elektroprzewodzące, Przegląd Włókienniczy, 1/1994, str. 5-8
16. Post E.R., Orth M., Russo P.R., Gershenfeld N.: E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing, IBM Systems Journal, 384/2000
17. Kucharska-Kot J.: Pomiary wybranych właściwości elektromechanicznych nitek elektroprzewodzących, Przegląd Włókienniczy. Włókno. Odzież. Skóra., 1/2008, str. 42-44
18. Materiały informacyjne firmy Bekaert Fibre Technologies, 2010
19. Materiały informacyjne firmy Ugitech, 2010
20. Materiały informacyjne firmy R-Stat, 2010
21. Materiały informacyjne firmy Nippon Seisen Co., 2010
22. Materiały informacyjne firmy Koolon Fiber Technology Co., 2010
23. Materiały informacyjne firmy Fibretech, 2010
24. Materiały informacyjne firmy Noble Biomaterials, 2010
25. Xstatic, The Silver Fiber: Katalog firmy Nobel Fibres Technology
26. Materiały informacyjne firmy Statex Production & Vertriebs GmbH, 2010
27. Materiały informacyjne firmy Swiss Shield EMI, 2010
28. Materiały informacyjne firmy Europa NCT Sp. z o.o., 2010
29. Materiały informacyjne firmy Epitropic Fibers Ltd, 2010
30. Materiały informacyjne firmy Shakespeare Conductive Fibers, 2010
31. Materiały informacyjne firmy Kuraray Co. Ltd, 2010
32. Materiały informacyjne firmy Smart Fiber AG, 2010
33. Materiały informacyjne firmy Toray Industries, 2010
34. Materiały informacyjne firmy Toho Tenax, 2010
35. Materiały informacyjne firmy Mitsubishi, 2010
36. Materiały informacyjne firmy Hexcel, 2010
37. Materiały informacyjne firmy Cytec Industries, 2010
38. Materiały informacyjne firmy Schunk Gruppe, 2010
39. Bendkowska W.: Zastosowanie nanotechnologii w przemyśle włókienniczym, Przegląd Włókienniczy, 5/2003, str.17-21
40. Materiały informacyjne firmy Nanostructured & Amorphous Materials Inc, 2010
41. Ward D.: Trends in high-performance fiber developments examined, Technical Textiles International, 09/2002
42. Polipowski M.: Niektóre aspekty zastosowań nanotechnologii w przemyśle włókienniczym, Przegląd Włókienniczy. Włókno. Odzież. Skóra., 8/2007, str. 50-53
43. Surma B.: Nanoukłady oparte na nanorurkach węglowych, Przegląd Włókienniczy. Włókno. Odzież. Skóra., 9/2006, str. 52-55
44. [44] Bogush V.: Application of electroless metal deposition for advanced composite shielding materials, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 3/2005, vol.7, str. 1635 -1642

