

Pomiary wybranych parametrów elektrycznych materiałów włókienniczych do zastosowań w odzieży inteligentnej

Streszczenie. W artykule poruszono tematykę włókien elektroprzewodzących. Opisano ich rodzaje i możliwości zastosowania w wyrobach tektonicznych. Ponadto przedstawiono wyniki pomiarów rezystancji wybranych tkanin zawierających elementy elektroprzewodzące. Na podstawie pomiarów oraz rodzaju zastosowanego komponentu elektroprzewodzącego określono przydatność zastosowania omówionych tkanin w odzieży inteligentnej.

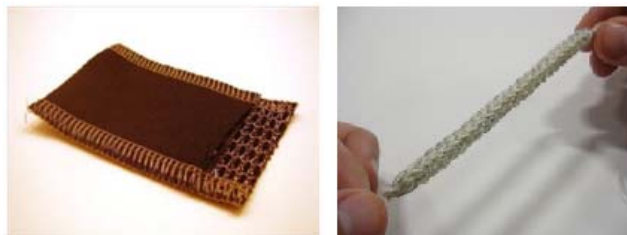
Abstract. In the article, the issue of electrically conductive fibers was described. The types and uses of the fibers in Textronics materials were shown. In addition, the results of measurements of the resistance of selected fabrics containing electrically conductive elements were described. On the basis of the measurement and the type of used electrically conductive component the usefulness of these textile in smart clothing were discussed. (*Measurements of the selected electrical parameters of textile materials for applications in smart clothing*).

Słowa kluczowe: włókna elektroprzewodzące, tektonika, odzież inteligentna, rezystancja

Keywords: electrically conductive fibers, Textronics, intelligent clothing, resistance

Wprowadzenie

Ubieralna technologia, znana kiedyś tylko profesjonalistom, przez których była wykorzystywana do badań i treningów lub celów militarnych powoli staje się ogólnodostępnym dobrem. Tekstylna inteligentna, oparte na materiałach inteligentnych są zdolne do reagowania na bodźce zewnętrzne poprzez istotną zmianę swoich właściwości dla pożądaną i skuteczną odpowiedź. Materiały takie łączą w sobie cechy czujnika (rys.1), procesora i siłownika oraz umożliwiają realizację sprzężeń zwrotnych.



Rys. 1. Tekstylne czujniki nacisku i rozciągania

Podobnie jak w klasycznej elektronice, konstrukcje tektoniczne wymagają użycia materiałów takich jak włókna, nitki, tkaniny elektroprzewodzące, piezoelektryczne, włókna magnetyczne, włókna optyczne i tekstylia z pamięcią kształtu oraz polimery elektroaktywne [1].

Obecnie w handlu dostępnych jest wiele tkanin zdolnych do przewodzenia prądu elektrycznego, których komponentem są włókna metalowe. Jednakże, zarówno metale i klasyczne półprzewodniki są materiałami sztywnymi, nie zawsze są odpowiednie dla potrzeb odzieży inteligentnej, ponieważ poddawane są znacznemu rozciąganiu i zgniataniu w trakcie użytkowania [2].

Jedną z najważniejszych kwestii dotyczącą e-tekstyliów jest możliwość prania tak jak zwykłych ubrań bez uszkodzenia wkomponowanych elementów elektronicznych. Nowa klasa materiałów elektronicznych, które są bardziej odpowiednie do zastosowań w odzieży inteligentnej to elastyczne włókna elektroprzewodzące oraz przewodzące prąd elektryczny farby i tworzywa sztuczne [3]. Naniesione powłoki przewodzące mogą stanowić element systemu sensorycznego do monitorowania funkcji organizmu ludzkiego [4, 5]

Przedmiot badań

Włókna przewodzące prąd elektryczny zazwyczaj składają się z nieprzewodzącej lub słabo przewodzącej

bazy oraz elementów znacznie lepiej przewodzących prąd elektryczny. Bazę często stanowią bawełna, poliester lub nylon, które są powleczone materiałami przewodzącymi takimi jak węgiel, metale lub polimery elektroprzewodzące [6].

Badaniom poddano wybrane materiały włókiennicze zawierające elementy przewodzące prąd elektryczny. Tkaniny takie sprawdzono na możliwość zabezpieczenia przed elektrycznością statyczną oraz rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego. Ocenie poddano również możliwość zastosowania takich tkanin i elastycznych włókien przewodzących w odzieży inteligentnej, które dotychczas stosowane były w przemyśle lub jako elementy specjalistycznej odzieży ochronnej [7, 8, 9]. Do pomiarów i analizy użyto 4 rodzajów materiałów włókienniczych. Parametry oraz skład surowcowy wybranych tkanin przedstawiono w tabeli 1.

W wybranych tkaninach zastosowano różne typy włókien i dodatków przewodzących. W tkaninie Flamentuff 200AS do przędzy dodawany jest materiał antystatyczny, co sprawia, że tkanina jest zdolna do odprowadzania ładunku elektrostatycznego. Z pozostałych tkanin zastosowano dodatek w postaci włókien przewodzących o różnym poziomie przewodności elektrycznej. W tkaninę Flamestat Cotton wplecione są polimerowe włókna o dużej rezystancji, z kolei w materiałach Arlen i Inotex 150 wykorzystano włókna znacznie lepiej przewodzące prąd elektryczny, odpowiednio: włókna węglowe i metalowe.

Tekstylna elektryczna i elektroniczna

Włókna elektroprzewodzące: główną rolą włókien elektroprzewodzących jest przenoszenie ładunków elektrycznych. Włókna te służą do połączeń układów elektronicznych i elektrycznych, do budowy ekranów chroniących przed promieniowaniem elektromagnetycznym, do budowy elementów grzejnych implementowanych w tkaninach i do konstrukcji sensorów. Ze względu na zdolność przewodzenia prądu możemy wyróżnić:

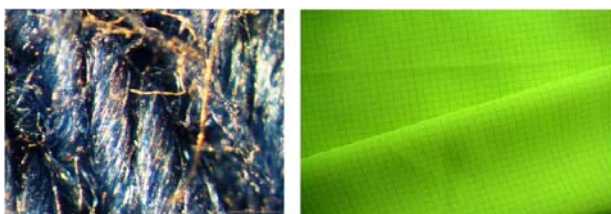
- włókna o małej rezystancji ($10^{-6} - 10^{-1}$) Ω/m , np. włókna metalowe (rys. 2a),
- włókna o średniej rezystancji ($10^{-1} - 10^2$) Ω/m , np. włókna węglowe (rys. 2b),
- włókna o dużej rezystancji ($10^2 - 10^4$) Ω/m , np. polimery zawierające proszek węglowy lub siarczek miedzi.

Tabela 1. Charakterystyka próbek badanych materiałów włókienniczych stosowanych w strefach zagrożonych wybuchem.

Material	Flametuff 200AS (Carrington GB)	Flamestat Cotton (Carrington GB)	ARLEN (OPTEx PL)	Inotex 150 (Andropol PL)
Skład [%]	87% bawełna/ 12% nylon /1% antystatyk	99% bawełna/ 1% włókna antystatyczne	98% bawełna/ 2% włókna węglowe	67% poliester/ 32% bawełna/ 1 % włókna metalowe
Wymagania norm	PN-EN ISO 14116:2011 PN-EN 1149-3:2007 PN-EN 1149-5:2009	PN-EN ISO 14116:2011 PN-EN 1149-3:2007 PN-EN 1149-5:2009	PN-EN 1149-3:2007 PN-EN 1149-5:2009	PN-EN 1149-5:2009 PN-EN 61482-1-2:2010

Tabela 2. Wyniki badań wybranych właściwości elektrycznych

Parametr	Flametuff 200AS	Flamestat Cotton	ARLEN	Inotex 150
Rezystancja powierzchniowa R_s [Ω]	$1,6 \times 10^8$	$7,9 \times 10^4$	$5,5 \times 10^4$	$1,7 \times 10^3$
Rezystywność powierzchniowa ρ_s [Ω]	$7,9 \times 10^9$	$1,1 \times 10^6$	$5,1 \times 10^5$	$2,1 \times 10^4$
Rezystancja odcinka 10x1 cm R [Ω]	---	$8,3 \times 10^5$	$9,1 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$
Możliwość ekranowania fal radiowych	NIE	NIE	TAK: K, UKF	TAK: K, UKF



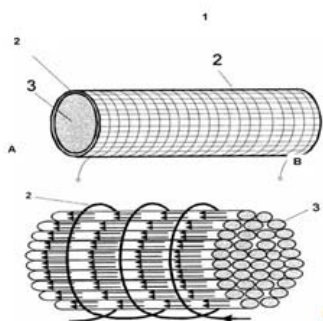
a) b)

Rys. 2. Powierzchnia materiału bawełnianego a) z widocznymi włóknami przewodzącymi, b) z widocznymi nitkami węglowymi

Włókna piezoelektryczne: są elementami czujników mierzących drgania oraz wykorzystywane są, jako mikro-źródła zasilania.

Włókna światłowodowa: w tekstronice stosowane są, jako sensory oraz elementy wzornicze.

Włókna magnetyczne: służą do budowy tekstylnych cewek magnetycznych (rys.3) i pełnią rolę sensorów lub aktuatorów.



Rys. 3. Wygląd tekstylnej cewki magnetycznej z tekstylnym rdzeniem. Oznaczenia: 1- tkanina przewodząca, 2-włókno magnetyczne, A-uzwojenie, B-rdzeń tekstylny

Zastosowanie tekstroniki

Odzież inteligentna ma za zadanie zastąpić klasyczną odzież osobistą i zapewnić dodatkową ochronę użytkownika przed niekorzystnymi warunkami otoczenia oraz ewentualnie, umożliwić monitorowanie stanu organizmu. Odzież inteligentna może być stosowana w trakcie konkretnych czynności związanych z np. z intensywnym wysiłkiem fizycznym, rehabilitacją, stymulacją mięśni.

Ponadto sama odzież nie może stanowić zagrożenia, np. w atmosferze wybuchowej.

- Ochrona zdrowia i medycyna: ubrania z zaimplementowanymi sensorami i elektrodami umożliwiającymi ciągle monitorowanie stanu zdrowia, np. kontrola pulsu, oddechu oraz temperatury
- Ratownictwo i odzież ochronna: odzież z sensorami temperatury, promieniowania, skażenia informujące o zagrożeniu.
- Odzież ochronna z wbudowanymi elementami grzewczymi lub chłodzącymi oraz czujnikami monitorującymi otoczenie.
- Wojsko: mundury kamuflujące, aktywne kamizelki kuloodporne, kombinezony z mikro- i nanomięśniami.
- Logistyka: inteligentne etykiety z informacją o sposobie prania (segregacja w pralniach przemysłowych), kodami pozwalającymi odróżnić wyrób markowy od falsyfikatu.
- Sport: odzież monitorująca i rejestrująca parametry organizmu sportowca, czy odzież z wbudowanym systemem GPS, kompasem, wysokościomierzem.
- Moda i rozrywka: świecące, interaktywne ubrania.
- Wyposażenie mieszkań: zintegrowane z tapicerkami mebli przełączniki, piloty, układy sterujące (rys. 4).



Rys. 4. Klawiatura QWERTY z tkaniny Softswitch

Wyniki pomiarów i podsumowanie

Pomiary właściwości elektrycznych materiałów włókienniczych wykonano na stanowisku wykonanym zgodnie z zaleceniami zestawu norm PN-EN 1149-xxx przy temperaturze $T=23 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $RH=50 \pm 5\%$, znajdującym się w Zakładzie Metrologii i Diagnostyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej. Zebrane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Wykorzystanie w odzieży materiałów inteligentnych w znaczącym stopniu zwiększa możliwości jej zastosowania. Przebadane tkaniny spełniają normy dotyczące ochrony

antyelektrostatycznej. Przedstawione wartości rezystancji odnoszą się do całej próbki i są większe niż samych włókien elektroprzewodzących. Tkaniny zawierające włókna węglowe oraz metalowe ze względu na dobre przewodnictwo elektryczne mogą być wykorzystane do konstrukcji różnych elementów elektrycznych np. cewki tekstylne, czujniki wilgotności, czujniki nacisku, potencjometry. Natomiast materiały zawierające elektroprzewodzące, elastyczne włókna polimerowe mogą spełniać rolę czujników rozciągania. Dodatkowo tkaniny elektroprzewodzące o niskiej rezystancji i odpowiednim układzie włókien, takie jak Arlen i Inotex 150 mogą zabezpieczać powszechnie noszoną elektronikę przed niepożądanym wpływem pola elektromagnetycznego. Obecnie stosowane włókna polimerowe charakteryzują się zbyt dużą rezystancją aby mogły być skutecznie zastąpić tradycyjne obwody elektryczne.

Autorzy prowadzą badania nad modyfikacją materiałów tekstylnych tak aby zastąpić nimi klasyczne połączenia elektryczne bez uszczerbku na komforcie i estetyce noszonego ubrania.

LITERATURA

- [1] Smart Sensing - The textile of the future a reality. <http://www.cityzensciences.fr/en>
- [2] Mattila H., Intelligent textiles and clothing, Woodhead Publishing, 2006
- [3] Hamed M., Herlogsson L., Crispin X., Marcilla R., Berggen M., Inganas O., Fiber-Embedded Electrolyte-Gate Field-Effect Transistors for e-Textiles, *Advanced Materials*, 5 (2009), 573-577
- [4] Korzeniewska E., Duraj A., Krawczyk A., Identyfikation of sensors dysfunctions of organism by e-fiber monitoring. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 181-184,
- [5] Pawlak R., Korzeniewska E., Frydrysiak M., Using Vacuum Deposition Technoogy for the Manufacturing of Electro-Conductive Layers on the Surface of Textiles, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 91 (2012), nr. 2, 68-71
- [6] Boczkowska A., Leonowicz M., Intelligent Materials for Intelligent Textiles, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 59 (2006), nr 5, 13-17
- [7] Margol M., Baranowski W., Jakubas A.: Tworzywa polimerowe - ubierają i chronią- cz. II, *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 3 (2012), nr 4, 55-56
- [8] Margol M., Baranowski W., Jakubas A.: Materiały polimerowe stosowane w przemyśle odzieżowym. Część II. Tkaniny przeznaczone do produkcji odzieży ochronnej i specjalnego przeznaczenia, *Przetwórstwo Tworzyw*, 149 (2012), nr 5, 546-551
- [9] Borowik L., Jakubas A., Measurements and subjects antistatic protective clothing, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 196-198

Autorzy: dr hab. inż. Lech Borowik, prof. PCz, E-mail: borowik@el.pcz.czesz.pl; dr inż. Adam Jakubas, E-mail: adam.jakubas@gmail.com. Politechnika Częstochowska, Instytut Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej, al. Armii Krajowej 17, 42-201 Częstochowa.