

## ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW METALICZNYCH STOSOWANYCH W PROWADNIKACH ELEKTROD DOSERCOWYCH

Beata DOBOSIEWICZ<sup>1</sup>, Adam JAKUBAS<sup>2</sup>

1. student Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów  
e-mail: internationalstudent@wp.pl
2. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny  
tel.: 34 3250892, e-mail: adam.jakubas@gmail.com

**Streszczenie:** Tematem pracy jest analiza materiałowa, analiza właściwości elektrycznych przewodników elektrod dosercowych stosowanych w stymulatorach. Różne elementy przewodników przebadano za pomocą mikroskopu skaningowego oraz mostka RLC. Autorzy wykonali analizę składu chemicznego przewodników elektrod oraz wykreślili charakterystykę impedancji próbek w zakresie częstotliwości kilohercowych. Otrzymane wyniki badań mają na celu zweryfikować przydatność tego typu materiałów do konstrukcji elementów matryc wieloelektrodowych pobudzających komórki nerwowe lub fotoreceptory.

**Słowa kluczowe:** przewodnik elektrody dosercowej, elektroda dosercowa, stymulator serca, defibrylator serca, stal nierdzewna, właściwości materiałowe, właściwości elektryczne.

### 1. INFORMACJE OGÓLNE

Przedmiotem prezentowanych badań są właściwości materiałowe oraz elektryczne metali i stopów metali stosowanych w medycynie. Pierwszy etap badań dotyczy stali chirurgicznej, którą pozyskano z elementów wchodzących w skład przewodników elektrod dosercowych. W kolejne etapy pracy badawczej autorzy skoncentrują się na właściwościach elementów wykonanych z metali szlachetnych. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów z użyciem mikroskopu skaningowego oraz mostka RLC. Podstawowym zastosowaniem tego typu przewodników elektrod dosercowych jest usztywnienie elektrody, tak, aby po implantacji znalazła się ona w prawidłowym położeniu. Przewodnik elektrody dosercowej jest elementem jednorazowym i przy każdej implantacji jest do wyboru kilka rodzajów przewodników o różnej długości oraz charakteryzujących się różnymi stopniami twardości. Ze względu na biogodność zastosowanych materiałów oraz ich dobrą przewodność elektryczną, autorzy wskazują na możliwość zastosowania tego typu specjalistycznych wyrobów do budowy matryc sensorycznych dla osób z wadami wzroku oraz matryc wieloelektrodowych dla osób ze schorzeniami układu nerwowego. Tego typu matryce są wykorzystywane m.in. do stymulacji fotoreceptorów siatkówki co prowadzi do częściowego przywrócenia funkcji wzroku [1-4]. Jednym z proponowanych rozwiązań jest implementacja mikrochipów CMOS pod przezroczystą warstwą siatkówki, które zastępują zdegenerowane fotoreceptory [5, 6]. Inne zastosowania to stymulacja żywych sieci neuronowych [7-9]

### 2. PODSTAWOWE INFORMACJE NA TEMAT ELEKTROD DOSERCOWYCH

Elektrody dosercowe są integralną częścią wszczepianych urządzeń kardiologicznych takich jak: stymulator serca lub defibrylator serca. Elektrody stymulatora charakteryzują się mniejszą ilością kanałów oraz innym zakończeniem końcówki stymulującej niż w przypadku elektrod defibracyjnych. W przypadku stymulacji serca układ stymulujący składa się ze stymulatora oraz elektrody. Układ stymulujący ma za zadanie stymulować oraz sterować. Elektroda stymulatora ma za zadanie zamykać obwód elektryczny między stymulatorem a sercem. Elektroda stymulatora to zaizolowany i wytrzymały, a zarazem elastyczny przewód, którego zadaniem jest przetransmitować impuls elektryczny ze stymulatora do serca. Stymulator może mieć nawet kilka elektrod, jest to uzależnione od jego typu. Zazwyczaj elektroda jest umieszczana na wewnętrznej powierzchni serca, ale są również elektrody nasierdziowe, czyli, umieszczane na powierzchni zewnętrznej [10]. Elektrody dosercowe są projektowane do pracy impulsowej przy napięciu od 0,5 V do 5 V i czasie trwania impulsu 0,2-1 milisekundy [11].

Materiał, z którego wykonywane są elektrody musi być dobrym przewodnikiem, nie ulegać zniszczeniu oraz korozji, nie być podatny na elektrolizę oraz nie powodować zapalenia. Nowatorskim rozwiązaniem było zastosowanie materiału Elgiloy (Elgin National Watch Co) jest to stop kobaltu, żelaza, chromu, molibdenu, niklu, manganu. Stosowane są też inne materiały takie jak: azotan tytanu, stop platyna-iryd, napylenie powierzchni proszkiem platynowym, azotan tytanu, tlenek irydu na tytanowej powierzchni - materiały te pozwalały również na wytworzenie struktury porowatej. Kolejnym materiałem, który znalazł zastosowanie w stymulatorach jest węgiel - materiał biokompatybilny, nieaktywny tkankowo, mający dużą odporność mechaniczną oraz dobre progi stymulacji. Obecnie najczęściej stosowanym materiałem są: tytan, tlenek tytanu, stopy tytanu, tytan pokrywany warstwą irydu. Materiały te dają niskie progi pobudliwości, małą polaryzację tkanek sąsiadujących z elektrodą [12]. Badania właściwości elektrycznych elektrod o różnym składzie materiałowym można odnaleźć między innymi

u R. W. de Boer i A. van Oosterom [13] oraz u T. Ragheb i L. A. Geddes [14].

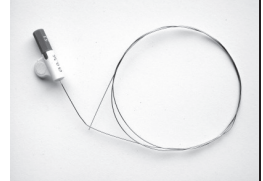

### 3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

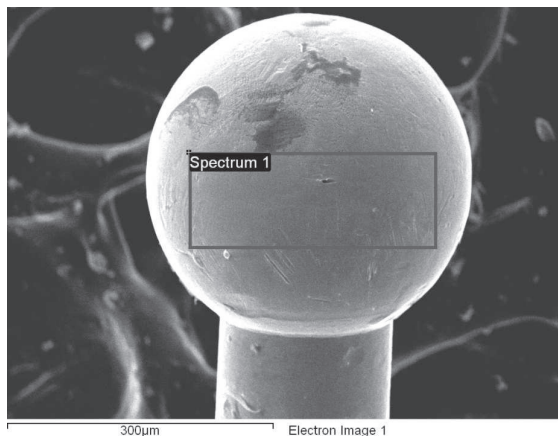
#### 3.1. Skład chemiczny i budowa elektrod

Materiałem do badań były przewodniki używanych elektrod dosercowych składające się z metalowego drutu zakończonych kopułą. Elektrody dosercowe otrzymano do badań z I Kliniki Kardiologii Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego w Warszawie. W placówce wszczepiane są różne modele elektrod dosercowych takich firm jak np. Biotronic, Medtronic, St. Jude.

Na przedstawionym materiale badawczym wykonano badanie makroskopowe z użyciem dwóch egzemplarzy przewodników elektrod. Zbadano: powierzchnię elementu wewnętrznego elektrody w postaci drutu zakończonych kopułą, analizę składu chemicznego oraz widmo składu chemicznego. Badanie makroskopowe dwóch elementów wewnętrznych elektrody dosercowej przedstawiono na kolejnych rysunkach.

Tablica 1. Wygląd i dane techniczne dwóch elektrod wewnętrznych wykorzystanych do badań [18].

	Elektroda 1	Elektroda 2
Nazwa urządzenia	Prowadnik elektrody dosercowej z łącznikiem IS-1	Prowadnik elektrody dosercowej z łącznikiem DF-1 RV
Producent	Medtronic	St. Jude Medical
Model	IS-1 BI	No. 14-52
Średnica	0,36 mm	0,34 mm
Długość	46 cm	44 cm
Zdjęcie przewodnika		

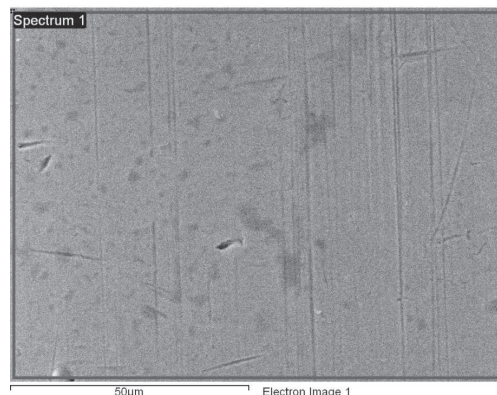


Rys. 1. Wygląd powierzchni zakończenia przewodnika elektrody dosercowej numer 1 z miejscem analizy składu chemicznego

Analizę powierzchni rdzeni, analizę składu chemicznego oraz widmo składu chemicznego powierzchni przewodników wykonano z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego JOEL JSM 5400 z przystawką EDX. Uzyskane wyniki wskazują, że zarówno zakończenie przewodników w postaci kulistej kopuły jak też same rdzenie są wykonane z tej samej stali wysokostopowej. Niewielkie

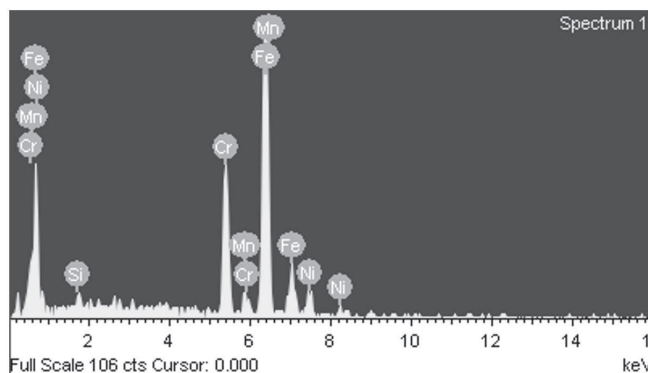
różnice są tylko na poziomie składu procentowego i wagowego pierwiastków stopowych, co przedstawiono w tablicach 1 i 2. Rezultaty badań na przykładzie przewodnika elektrody nr 1 przedstawiono na rysunkach 1-3.

Wygląd powierzchni zakończenia przewodnika elektrody dosercowej nr 1 z zakończeniem w kształcie kulistym pokazano na rysunku 1.



Rys. 2. Wygląd powierzchni przewodnika elektrody dosercowej numer 1

Widmo składu przewodnika elektrody dosercowej numer 1 przedstawia rysunek 3. Skład chemiczny przewodników elektrod dosercowych umieszczono w tablicach 1 i 2.



Rys. 3. Widmo składu chemicznego przewodnika elektrody dosercowej nr 1

Tablica 1. Skład chemiczny przewodnika elektrody dosercowej numer 1

Pierwiastek	Procent wagowy, %	Procent atomowy, %
Si	0,88	1,72
Cr	20,78	21,88
Mn	0,95	0,95
Fe	68,85	67,49
Ni	8,54	7,96

Tablica 2: Skład chemiczny przewodnika elektrody dosercowej numer 2

Pierwiastek	Procent wagowy, %	Procent atomowy, %
Si	0,74	1,45
Cr	19,23	20,32
Mn	0,89	0,89
Fe	68,35	67,24
Ni	10,79	10,10

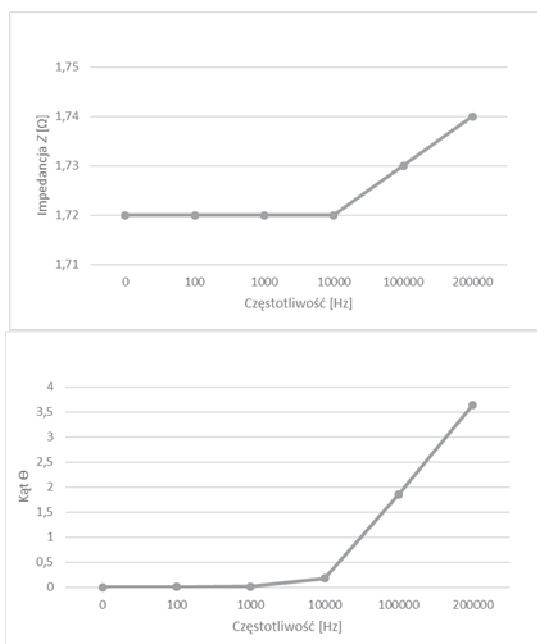
Budowa przewodników elektrod dosercowych oraz samych elektrod może charakteryzować się dużą różnorodnością materiałów: od materiałów tantalowych,

poprzez stopy platyna-iryd, węgiel aż do stali stopowej, która jest stosowana głównie z powodu niskiego kosztu materiału. Kształt przewodnika to drut zakończony elementem kulistym, który również jest wykonany ze stali stopowej. Na podstawie analizy składu chemicznego obu przewodników elektrod dosercowych można stwierdzić, że ich skład chemiczny jest taki sam, jeżeli chodzi o pierwiastki składowe są tylko niewielkie różnice, jeżeli chodzi o ilość poszczególnych pierwiastków składowych w stopie. Podobnie na podstawie analizy materiałowej dwóch kulistych zakończeń dwóch rdzeni elektrod dosercowej można stwierdzić, że ich skład chemiczny, jeżeli chodzi o występujące pierwiastki jest taki sam występują jedynie niewielkie różnice ilości pierwiastków składowych w tych dwóch elementach.

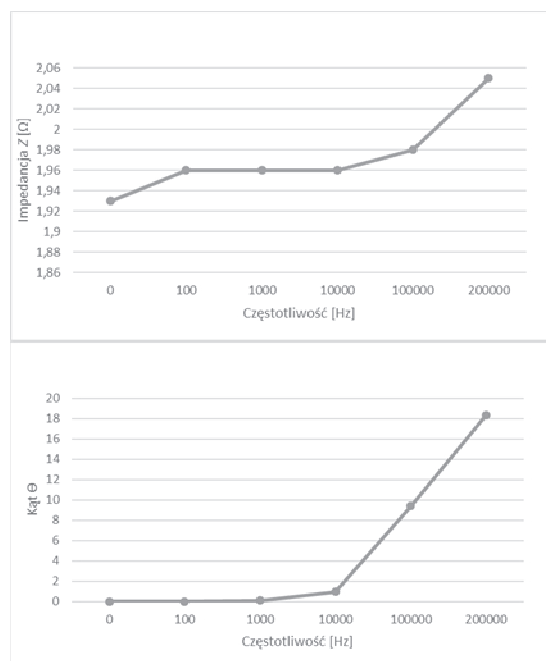
Analiza składu materiałowego wskazuje, że do produkcji tego typu elektrod wykorzystano stal austenityczną 304. Stale z tej grupy nie zawierają w swoim składzie domieszki molibdenu. Gatunek 304 powszechnie używany jest w przemyśle spożywczym ze względu na chemiczną obojętność w kontakcie z produktami spożywczymi, a także w kontakcie z detergentami do czyszczenia produktów. Nie jest podatny na korozję pod wpływem działania kwasów występujących w artykułach spożywczych. Stal jest również przeznaczona na tworzenie wyposażenia szpitalnego, wyposażenia w inżynierii chemicznej [15, 16].

### 3.2. Właściwości elektryczne

Pomiary właściwości elektrycznych stopów metali wykonano metodą czteropunktową [17] za pomocą mostka LCR MOTTECH MT 4090, w zakresie częstotliwości 100 Hz do 200 kHz. Na rysunkach 4-5 przedstawiono zmierzone charakterystyki częstotliwościowe komponentów sond medycznych. Wszystkie próbki miały jednakową długość – 25 cm.



Rys. 4. Charakterystyka modułu impedancji Z i kąta fazowego  $\Theta$  od częstotliwości dla przewodnika elektrody dosercowej IS-1 BI,  $l=25$  cm



Rys. 5. Charakterystyka modułu impedancji Z i kąta fazowego  $\Theta$  od częstotliwości dla przewodnika elektrody dosercowej 14-52,  $l=25$  cm

Zbadane elementy wykazują dobrą przewodność elektryczną w szerokim zakresie częstotliwości. W zależności od próbki rezystancja DCR miała wartość od 1,72  $\Omega$  dla przewodnika elektrody dosercowej IS-1 BI do 1,92  $\Omega$  dla przewodnika elektrody dosercowej 14-52. Względem danych dla elektrod podanych w tabelicy 1 (średnica elektrod 0,36 mm i 0,34 mm, długość pomiarowa - 25 cm) wartości te pokrywające się z wartościami katalogowymi dla stali AISI 304L, która charakteryzuje się rezystywnością  $\rho = 73,0 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$  [16]. Jednakże, wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału ujawnia się indukcyjny charakter próbek. Może to mieć negatywne konsekwencje podczas transmisji sygnałów o wyższych niż zmierzone częstotliwościach.

### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Otrzymane wyniki badań wskazują na zbliżony skład jakościowy poszczególnych elementów przewodników elektrod, typowy dla stali chirurgicznych. Jest to materiał stosunkowo tani i łatwy w produkcji. Ponadto, przebadane próbki miały dobre właściwości elektryczne. W związku z tym tego typu cienkie, długie i elastyczne elektrody mogą zostać użyte do transmisji sygnałów w częstotliwościach kilohercowych o niewielkim poziomie mocy. Jednym z zastosowań, który będzie dalszym kierunkiem badań będzie wykorzystanie elementów elektrod dosercowych do opracowania biosensorów i matryc sensorycznych umieszczanych wewnątrz organizmu.

Koszty udziału w konferencji MKM'2017 są finansowane w ramach stypendium konferencyjnego Polskiego Towarzystwa Optometrii i Optyki.

### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Zrenner E.: 2002 Will retinal implants restore vision? Science, 2012, 295, s. 1022–1025.
2. Zrenner E., i in.: Subretinal electronic chips allow blind patients to read letters and combine them to words.

- Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 2011, 278, s. 1489-1497.
3. Dommel, N. B., i in.: A CMOS retinal neurostimulator capable of focussed, simultaneous stimulation. *Journal of neural engineering*, 2009, 6(3), s. 035006.
  4. Palanker, D., i in.: Design of a high-resolution optoelectronic retinal prosthesis. *Journal of neural engineering*, 2005, 2(1), s.105.
  5. DeMarco, Paul J., i in.: Stimulation via a subretinally placed prosthetic elicits central activity and induces a trophic effect on visual responses, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2007, 48(2), s.916-926.
  6. Heer, F. i in.: CMOS microelectrode array for the monitoring of electrogenic cells, *Biosensors and Bioelectronics*, 2004, 20(2), s.358-366.
  7. Grumet, Andrew E., John L. Wyatt, and Joseph F. Rizzo: Multi-electrode stimulation and recording in the isolated retina, 2000, *Journal of neuroscience methods* 101(1), s.31-42.
  8. Spira, Micha E., and Aviad Hai: Multi-electrode array technologies for neuroscience and cardiology, *Nature nanotechnology*, 2013, 8(2), s.83-94.
  9. Rousche, Patrick J., Richard A. Normann: Chronic recording capability of the Utah Intracortical Electrode Array in cat sensory cortex, *Journal of neuroscience methods*, 1998, 82(1), s.1-15.
  10. Najnowsze zalecenia polskich i zagranicznych towarzystw naukowych, <http://www.jaimojeserce.eu> (dostęp: 10.05.2017 r.).
  11. Vardas, Panos E., i in.: Guidelines for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: The Task Force for Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy of the European Society of Cardiology. Developed in Collaboration with the European Heart Rhythm Association. *European heart journal*, 2007, 28(18), s.2256-2295.
  12. Krupienicz A.: *Stymulacja serca*, PZWL, Warszawa 2014.
  13. De Boer, R. W., i A. Van Oosterom: Electrical properties of platinum electrodes: impedance measurements and time-domain analysis. *Medical and biological Engineering and Computing*, 1978, 16(1), s.1-10.
  14. Ragheb, T., i L. A., Geddes: Electrical properties of metallic electrodes, *Medical and Biological Engineering and computing*, 1990, 28(2), s.182-186.
  15. PN-EN 10088-1:2014-12, Stale odporne na korozję -- Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję.
  16. Informacje o stali nierdzewnej udostępnione przez *Stowarzyszenie Stal Nierdzewna*, <http://www.stalenierdzewne.pl> (odczyt: 25.06.2017 r.).
  17. Borowik L., Jakubas A., Analiza przydatności metod pomiaru rezystancji powłok antyelektrostatycznych o nieregularnych kształtach, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, 4(90), s. 116-119.
  18. Pacemaker and icd encyclopedia, Medtronic Technical Services, 2007, [www.medtronic.com/downloadablefiles/Encyclopedia.pdf](http://www.medtronic.com/downloadablefiles/Encyclopedia.pdf)

## ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF METAL MATERIALS USED IN STYULATION ELECTRODES GUIDES

The subject of the presented studies were material and electrical properties of the components of the electrodes. In the paper presents results of measurements using a scanning microscope and RLC bridge. The authors have analyzed the electrochemical composition of the electrodes and have characterized the impedance characteristics of the samples in the kilohertz frequency range. Basic use of these types of electrodes is found in pacemakers and heart defibrillators, where their task is to impulse the implanted device. The results of the study indicate a similar quality composition of various electrode specimens, typical of surgical steel. Due to the biocompatibility of the materials used and their good electrical conductivity, the authors point to the possibility of using this type of specialist products for the construction of other medicine devices. One application that will be the further direction of research will be the use of cardiac electrodes to develop biosensors and sensory matrices placed inside the body.

**Keywords:** cardiac lead guide, stimulation, electrodes for cardiac devices, implanted devices, alloy steel, material properties, electrical properties.