Wiadomości Zootechniczne, R. LVI (2018), 2: 62–67

Badanie impedancji, ciepłochronności i naprężenia zrywającego wełny jednolitej i mieszanej

Paulina Cholewińska[1], Marta Michalak[2], Anna Wyrostek[1], Katarzyna Czyż[1], Damian Konkol[3]

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
[1]Zakład Hodowli Owiec i Zwierząt Futerkowych, Kożuchowska 5B, 51-630 Wrocław;
[2]Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa, Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław;
[3]Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt, Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław

Wełna należy do włókien pochodzenia zwierzęcego, pozyskiwanych od owiec, lam, alpak, kóz kaszmirskich i angorskich, wielbłądów, guanaco i królików. Była ona jednym z pierwszych włókien wykorzystywanych do produkcji odzieży. W ostatnich latach – poza wykorzystaniem w przemyśle tekstylnym – zaczęto doceniać jej właściwości terapeutyczne, a także znalazła zastosowanie w przemyśle akustycznym (wygłuszanie pomieszczeń) i budownictwie (izolacja cieplna) (Ballagh, 1996; Niżnikowski, 2011; Kaczmarska i in., 2001; Wiley i in., 2005).

Specyficzne właściwości wełny i związane z nią cechy fizykochemiczne, takie jak: ognioodporność, wytrzymałość na zryw, higroskopijność i termoizolacyjność, czynią ją cennym produktem pochodzenia zwierzęcego (Wiley i in., 2005). W latach 90. XX wieku zajmowano się także badaniem wpływu wełny na ludzkie ciało. Wykazano wtedy, że wełna działa jak kondensator, utrzymując system naładowany elektrycznie, co wpływa korzystnie na organizm ludzki (Callahan i Kornberg, 1993). Cechy te są związane z jej właściwościami jako dielektryka, czyli materiału, w którym prąd jest słabo przewodzony. Może to być rezultatem niskiej koncentracji lub niskiej ruchliwości ładunków elektrycznych, bądź obu czynników jednocześnie (Jha i in., 2011). Dzięki temu możliwe jest zastosowanie badania cech elektrycznych wełny w celu określenia zachodzących w niej zmian, w tym określenia jej jakości.

Badanie cech elektrycznych staje się w ostatnich latach coraz powszechniej stosowane, ponieważ przy niewielkim nakładzie pracy pozwala określić zmiany zachodzące na poziomie molekularnym. Metoda ta jest stosowana m.in. w ocenie jakości produktów spożywczych oraz w ocenie gleb, wypierając metody tradycyjne – często czasochłonne i wymagające większego nakładu pracy. Badanie oparte jest na różnicy w zachowaniu się badanego materiału w polu elektromagnetycznym, które opisuje się poziomem oporności (impedancja – poziom, w jakim badany materiał przewodzi prąd) bądź właściwości dielektrycznych badanego materiału (Samouëlian i in., 2005; Bancalari in., 2016).

Badanie miało na celu określenie impedancji dwóch typów wełny do określania zmian w jej oporności zachodzących po praniu oraz w rozróżnieniu rasowym. Badanie cech elektrycznych zostało porównane z badaniem ciepłochronności i naprężeniem zrywającym.

Materiał i metody

Materiał badawczy

Próby pochodziły z Ogrodu Zoologicznego we Wrocławiu (owce rasy wrzosówka – wełna mieszana) oraz z Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Swojec, należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (owce rasy olkuskiej – wełna jednolita). Strzyża zwierząt odbyła się w maju przy rocznym (12-miesięcznym) odroście wełny. Do pomiarów cech elektrycznych oraz ciepłochronności pobrano próby wełny potnej od 5 sztuk zwierząt (samice w wieku 2–3 lat) z każdej z ras, ujednolicono wagowo, a po wykonaniu badań – uprano i poddano powtórnemu badaniu. W celu określenia naprężenia zrywającego od każdego osobnika pobrano po 15 włosów (z czego u wrzosówki w stosunku 1:1:1, czyli po 5 sztuk z każdego typu).

Wełnę do badań wyprano przy użyciu mydła o składzie: Sodium Tallowate, Sodium Cocoate, Sodium Chloride, Aqua, Glycerin, Tetrasodium Etidronate, Sodium Hydroxide. Masa prób wynosiła przy pomiarze: cech elektrycznych 0,35 g (+/-0,02 g), ciepłochronności 0,52 g (+/-0,015 g).

Badanie cech elektrycznych. Próby zostały poddane badaniu przy użyciu aparatu High Impedance Analyser – Atlas 0441 firmy Atlas Solich w Laboratorium Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Zakres częstotliwości urządzenia wynosił od 10 Hz do 1 MHz. Próby były umieszczone między miedzianymi elektrodami w komorze o grubości 3,9 mm i średnicy wewnętrznej 38 mm, wykonanej z plastiku. Pomiary wykonano przy stałej temperaturze 25°C i wilgotności 70% oraz powtórzono dwukrotnie.

Badanie ciepłochronności i naprężenia zrywającego. Badanie zostało wykonane w Pracowni Skór i Okrywy Włosowej Instytutu Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za pomocą aparatury do oceny materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego, ciepłochronności (WPC) oraz urządzenia do pomiaru naprężenia zrywającego (N) firmy Matest. Pomiary powtórzono dwukrotnie.
Naprężenie zrywające policzono ze wzoru:

$$N = (Fn \times 10^4) / (\pi \times d^2 \times 9{,}81)$$

gdzie: N – naprężenie zrywające (kg/mm^2),
Fn – siła zrywająca (cN),
d – średnica przekroju poprzecznego włosa (µm),
Natomiast ciepłochronność, czyli wskaźnik przenikania ciepła (WPC) ze wzoru:

$$WPC = GSC_p / GSC_0$$

gdzie: GSC_p – gęstość strumienia cieplnego przenikającego przez próbę (kW/m^2),
GSC_0 – gęstość strumienia cieplnego padającego na próbę (kW/m^2).

Opracowanie wyników. W celu określenia wpływu prania na wyniki otrzymane w badaniu impedancji i ciepłochronności zastosowano test kolejności par Wilcoxona ($P \leq 0{,}05$), natomiast wyniki dotyczące naprężenia zrywającego opracowano za pomocą testu U Manna-Whitney'a. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu STATISTICA ver. 13.1.

Wyniki i ich omówienie

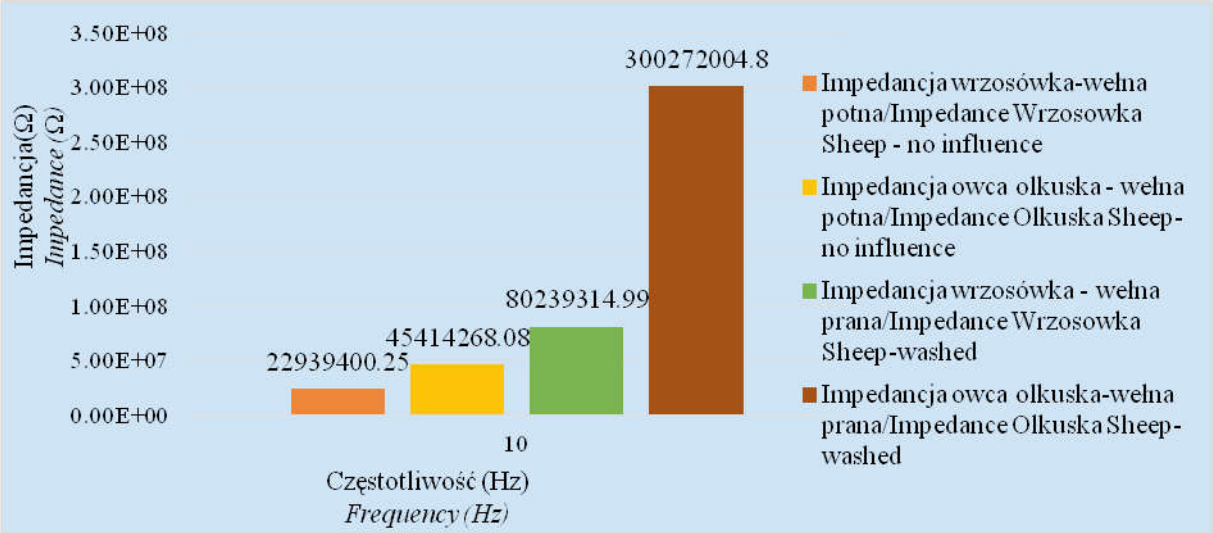
Badanie impedancji (Ω) próbek wełny wykonano w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Przy niższych częstotliwościach próbki wełny charakteryzowały się skokowymi zmianami wartości cech, natomiast przy częstotliwości przepływu prądu powyżej 64 kHz przebieg był liniowy z tendencją spadkową. Impedancja jest uogólnieniem oporu elektrycznego, im jest wyższa, tym niższa przewodność materiału, czyli wyższy jego opór.

Znaczące skoki impedancji z widocznymi różnicami ze względu na typ wełny można zaobserwować przy częstotliwości początkowej, czyli 10 Hz (wykr. 1). Najwyższą impedancją charakteryzuje się przy tej częstotliwości wełna prana owcy olkuskiej (300 MΩ, podczas gdy wełna prana wrzosówek: 80 MΩ). Wełna, zarówno prana jak i potna, owiec olkuskich charakteryzowała się skokami impedancji przy częstotliwościach 20, 40 i 80 Hz, a wełna wrzosówek przy częstotliwościach 16, 40 i 98 Hz (wykr. 2), po czym następował liniowy spadek wartości impedancji. Podobne skoki i liniowy spadek stwierdzono w przypadku wełny pranej.

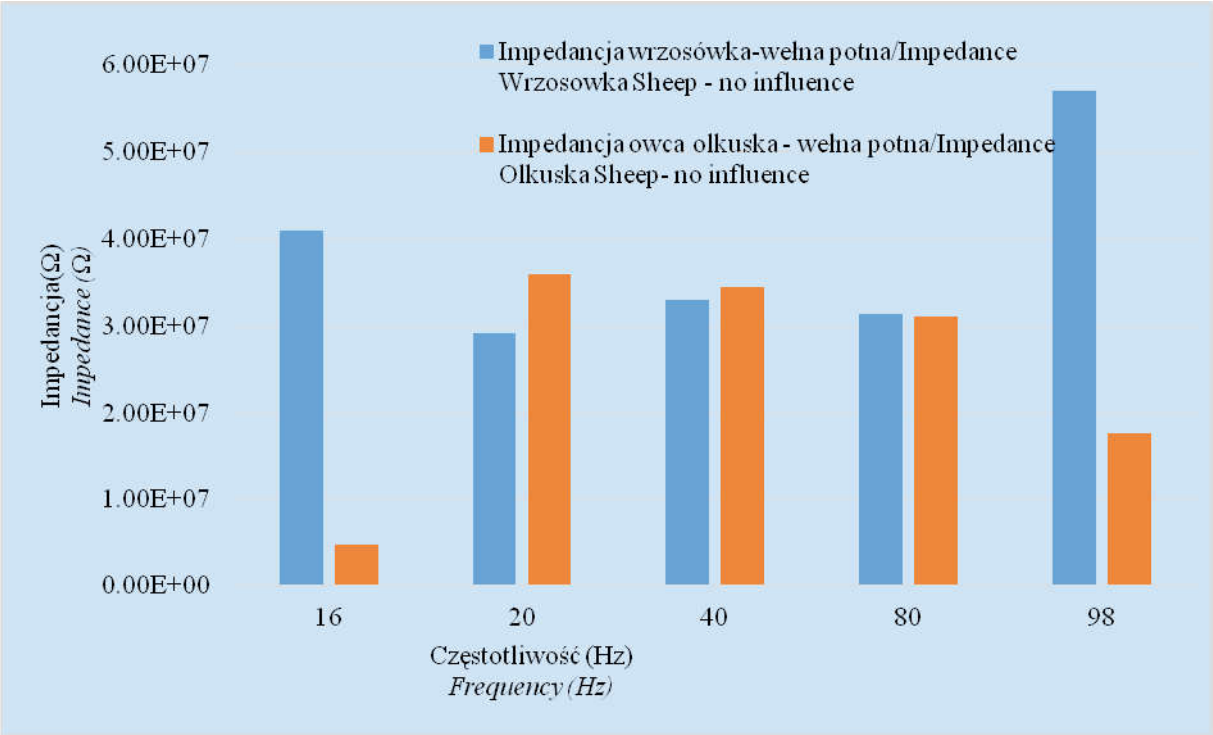
Badanie ciepłochronności, czyli określające przenikanie ciepła przez badany materiał, nie wykazało istotnych różnic w dwóch typach wełny ($P \geq 0{,}05$). Wskaźnik przenikania ciepła dla wełny jednolitej potnej wyniósł 1,17, a 1,42 dla wełny mieszanej. Napięcie zrywające wykazało jednakże różnice między wełną jednolitą a mieszaną (tab. 2), gdyż wełna jednolita charakteryzowała się około 4-krotnie wyższą jego wartością niż wełna mieszana. Wyniki naprężenia zrywającego nie wykazały natomiast różnic między wełną praną a potną.

W badaniu impedancji wykazano istotne statystycznie różnice ($P \leq 0{,}05$) między wełną praną i potną, zarówno w przypadku wełny mieszanej, jak i jednolitej. Największe różnice między wełną praną a potną wykazano u owcy olkuskiej ($P=0{,}000019$, natomiast wełna prana i nieprana wrzosówki – $P=0{,}000073$). Wełna prana owcy olkuskiej charakteryzuje się wyższą impedancją niż wełna potna, a znaczące różnice widoczne są przy częstotliwościach 20 Hz (odpowiednio: 189 MΩ, 35 MΩ), 40 Hz (odpowiednio: 120 MΩ, 34 MΩ), 80 Hz (odpowiednio: 80 MΩ, 31 MΩ). Wyższą impedancją wełna prana owcy wrzosówki cechuje się przy częstotliwościach 20 Hz (odpowiednio: 81 MΩ, 29 MΩ), 40 Hz (odpowiednio: 74 MΩ, 33 MΩ), a również w zakresie od 130 do 260 Hz (odpowied-

nio w zakresie: 44–28 MΩ, 27–20 MΩ). Przy częstotliwości powyżej 32 kHz następuje liniowy spadek wartości impedancji we wszystkich badanych próbach.



Wykres 1. Impedancja (Ω) wełny przy częstotliwości 10 Hz
Fig.1. Impedance (Ω) of wool at frequency of 10 Hz



Wykres 2. Impedancja wełny owcy olkuskiej i wrzosówki przy częstotliwości 16, 20, 40, 80 i 98 Hz
Fig. 2. Impedance (Ω)) of wool from Olkuska and Wrzosowka sheep at frequency of 16, 20, 40, 80 and 98 Hz

Tabela 1. Ciepłochronność wełny potnej i pranej (P<0,05)
Table 1. Heat transfer coefficient of greasy and washed wool (P<0.05)

Typ – *Type*	Wełna potna – *Greasy wool*	Wełna prana – *Washed wool*
Owca wrzosówka – *Wrzosowka sheep*	1,42 a	0,71 b
Owca olkuska – *Olkuska sheep*	1,17 a	0,502 b

Tabela 2. Wyniki naprężenia zrywającego wełny potnej i pranej (kg/mm^2) (P<0,05)
Table 2. Results of tensile strength of greasy and washed wool (kg/mm^2) (P<0.05)

Typ – *Type*	Owca wrzosówka – *Wrzosowka sheep*	Owca olkuska – *Olkuska sheep*
Wełna potna – *Greasy wool*	1,54 a	6,54 b
Wełna prana – *Washed wool*	1,52 a	6,39 b

Wyniki badania impedancji wykazały istotne różnice między wełną praną i potną, co znajduje odzwierciedlenie w badaniu przenikalności cieplnej, jednak nie zostało wykazane w badaniu wytrzymałości na zrywanie. Pranie znacząco wpłynęło na obniżenie wskaźnika przenikalności cieplnej (tab. 1), wraz ze spadkiem przenikalności cieplnej wzrósł poziom impedancji.

Zjawisko impedancji jest powszechnie wykorzystywane przy ocenie jakości mikrobiologicznej produktów żywnościowych, a także przy badaniu materiałów rolniczych, ponieważ określa ono zmiany na poziomie molekularnym (Bancalari in., 2016; Jha i in., 2011). Dodatkową zaletą tej metody jest nieniszczący wpływ na badany materiał. Na otrzymane wyniki badania cech elektrycznych wpływają czynniki zewnętrzne oraz struktura badanego materiału (Jha i in., 2011).

Poszczególne typy włosów charakteryzują się różnym poziomem wypełnienia przez keratynę. Włosy zbudowane są w 90–95% z „twardej" α-keratyny. Wypełnia ona w różnym stopniu wnętrze włosa, przez co można wyróżnić różne anatomiczne typy włosów, a dodatkowo różne typy wełny ze względu na ich występowanie w okrywie. W zależności od stopnia wypełnienia włosy różnią się pod względem grubości, higroskopijności, wytrzymałości, elastyczności i odporności na czynniki mechaniczne. Wykazanie różnicy w typach wełny między badanymi zwierzętami łączy się ze zróżnicowaną strukturą wypełniającej ją keratyny, co wpływa także na różnice w naprężeniu zrywającym, na wartość którego ma znaczny wpływ (Cardamone i in., 2009; Safari i in., 2007; McKittrick i in., 2012). Wykazanie różnic międzyrasowych poprzez cechy elektryczne zostało potwierdzone w badaniu własnym poprzez naprężenie zrywające. Nie zostało natomiast potwierdzone poprzez badanie przenikalności cieplnej, co było prawdopodobnie związane z podobnym poziomem termoizolacyjności każdego typu wełny.

Poziom przenikalności cieplnej zmienił się pod wpływem prania, co zostało także wykazane w badaniu poziomu impedancji. Stwierdzono, że wraz ze spadkiem przenikalności cieplnej, czyli zwiększeniem termoizolacyjności wzrastała także oporność badanych rodzajów wełny. Zmienność w poziomie impedancji wynikła w tym przypadku ze zmycia warstwy tłuszczu oraz zwiększającego przewodność elektryczną potu, który w 90% składa się z wody oraz soli i kwasów organicznych (Jaber i in., 2012). Wierzchnia warstwa włosa jest natomiast pokryta epikutikulą o charakterze hydrofobowym i zbudowana z białek i lipidów, które zmniejszają przewodność elektryczną (Kurzepa, 2014; Koehn i in., 2010). Było to prawdopodobnie czynnikiem wpływającym na zwiększenie oporności badanych materiałów.

Zastosowanie badania impedancji wykazuje zarówno różnice między typami wełny, jak i wpływ zabiegu prania na wełnę. Dlatego też, prowadząc badania właściwości elektrycznych wełny można w przyszłości opracować metodę szybszą i zmniejszającą nakład pracy w celu określenia jej jakości oraz zmian zachodzących pod wpływem różnych czynników.

Wnioski

1. Porównanie wartości impedancji (Ω) wykazało różnice w zachowaniu w polu elektromagnetycznym dwóch typów wełny – jednolitej i mieszanej.
2. W badaniu ciepłochronności nie wykazano różnic pomiędzy wełną praną i potną.
3. Badanie impedancji wełny wykazało istotny wpływ prania ($P<0,05$) na wełnę owiec olkuskich i wrzosówek. Wełna prana charakteryzowała się wyższą opornością niż potna. Nie wykazano natomiast zmian w badaniu naprężenia zrywającego.

Literatura

Ballagh K.O. (1996). Acoustical properties of wool, Applied Acoustics, 48, 2: 101–120.

Bancalari E., Bernini V., Bottari B., Neviani E., Gatti M. (2016). Application of impedance microbiology for evaluating potential acidifying performances of starter lactic acid bacteria to employ in milk transformation. Front. Microbiol., 7: 1628; doi: 10.3389/fmicb.2016.01628.

Callahan P., Kornberg H. (1993). United States Patent, Photonic Ionic Cloth Radio Amplifier. Patent Number: US 5,247,933 A.

Cardamone J.M., Nuñez A., Garcia R., Aldema-Ramos M. (2009). Characterizing wool keratin. Res. Lett. Mat. Sci., 1–6.

Jaber N., Lesniewski A., Gabizon H., Shenawi S., Mandler D., Almog J. (2012). Visualization of latent fingermarks by nanotechnology: reversed development on paper – a remedy to the variation in sweat composition. Angewandte Chemie Int. Ed., 51 (49): 12224–12227.

Jha S.N., Narsaiah K., Basediya A.L., Sharma R., Jaiswal P., Kumar R., Bhardwaj R. (2011). Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods – a review. J. Food Sci. Technol., 48 (4): 387–411.

Kaczmarska H., Massalska-Lipińska T., Werner J. (2001). Knitted sheep wool and their performance features. Rocz. Nauk. Zoot., 11, Supl., ss. 93–100.

Koehn H., Clerens S., Deb-Choudhury S., Morton J.D., Dyer J.M., Plowman J.E. (2010). The proteome of the wool cuticle. J. Prot. Res., 9: 2920–2928.

Kurzepa J. (2014). Chemistry of living organisms. Radom Scientific Society, 154 pp.

McKittrick J., Chen P.Y., Bodde S.G., Yang W., Novitskaya E.E., Meyers M.A. (2012). The structure, functions, and mechanical properties of keratin. JOM, 64, 4: 449–468.

Niżnikowski R. (2011). Hodowla i użytkowanie owiec. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 23: 196–205.

Safari E., Fogarty N.M., Gilmour A.R. (2005). A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. Livest. Prod. Sci., 92 (3): 271–289.

Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A., Richard G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Tillage Res., 83 (2): 173–193.

Wiley J. & Sons, Encyclopedia of Polymer Sceince and Technology (2005). 12: 546– 55.

STUDY OF IMPEDANCE, THERMAL INSULATION AND BREAKING STRENGTH OF UNIFORM AND MIXED WOOL

Summary

The study of electrical characteristics allows determining changes at the molecular level. Application of this method to determine changes in the coat may in the future accelerate the tests compared to traditional methods. The study was conducted to determine the differences between two types of wool: uniform and mixed. Electrical parameters (impedance (Ω)) were compared in terms of different types of wool and washing effect. In order to confirm the results, a heat resistance test and a wool stretch test were carried out for each of the studied groups. The impedance (Ω) of wool samples was studied in the frequency range from 10 Hz to 1 MHz. Differences in the impedance of the samples showed differences between homogeneous and mixed wool, which was confirmed by the tensile strength test ($P < 0.05$). On the other hand, the thermal insulation test did not reveal any significant differences between the types of wool. However, it showed a significant impact on wool washing, as well as the study of electrical characteristics. In this case, however, the break stress test showed no difference between washed and greasy wool (no influence). Washed wool was characterized by lower heat resistance, related to the decrease in impedance. The electrical characteristics show the variability of wool types and the impact of its treatment. Further research in the future will allow developing a faster and less labor-intensive method of determining the quality of the coat and the changes taking place under the influence of various factors.

Key words: electrical characteristics, impedance, heat transfer index, breaking strength, wool

Owca olkuska – *Olkuska sheep*

Owca wrzosówka – *Wrzosówka sheep*

Fot. J. Sikora