

Magdalena KULIG<sup>1</sup>  
Iga LIZAK<sup>2</sup>

## BEZSTYKOWY POMIAR ŚREDNICY WŁOSA ALPAKI

W artykule przedstawiono wyniki badań średnicy włosa alpaki za pomocą techniki laserowej. Przeanalizowano zależności zmiany średnicy włosa od czynników takich jak: odległość włosa od ekranu, położenie prążków dyfrakcyjnych. Wartości czynników spowodowały wahania średnicy włosa. Na podstawie eksperymentów wykazano, że dzięki zastosowaniu dyfrakcji światła laserowego możliwy jest pomiar bardzo cienkich włosów alpaki.

**Słowa kluczowe:** średnica włosa, dyfrakcja światła, alpaka

### 1. WSTĘP

Zapotrzebowanie na materiały luksusowe we współczesnych czasach, niewątpliwie staje się coraz bardziej powszechne. Nabywcy mają coraz większe wymagania dotyczące jakości wyrobu, z tego też względu poszukują nowych rozwiązań, które zaspokoją ich potrzeby. Obecnie na całym rynku światowym dominuje wełna owcza, natomiast reszta włókien np. alpaka, lama czy angora są włóknami specjalnymi. Wełna alpaki na skalę światową stała się towarem bardzo luksusowym. Wyróżnia się między innymi niesamowitą miękkością i bardzo cienkim włóknem, które jest nawet do trzech razy trwalsze, w porównaniu z wełną owczą. Taka kolekcja wyrobów włókienniczych, które znajdują się w garderobie z pewnością posłuży na kilka lat, ponieważ włókna nie ulegają deformacji ani też rwaniu. Ponadto posiada właściwości termoizolacyjne, jest zdecydowanie dużo bardziej cieplejsza od wełny owczej a zarazem lżejsza. Przez niską zawartość lanoliny, jest mało podatna na zabrudzenia, a także odporna na roztocza i jak najbardziej wskazana dla osób z alergią, ponieważ nie uczula. Jakość włókna alpaki zależy głównie od rodzaju zwierzęcia, ponieważ różnią się one grubością. Najbardziej pożądane są włókna cienkie, ponieważ są wtedy zdecydowanie bardziej delikatniejsze i wysoko cenione, z tego też względu hodowcy dokonują selekcji alpak, aby podnieść jakość wyrobów.

---

<sup>1</sup> Magdalena Kulig, Politechnika Rzeszowska, e-mail: [m.kulig@prz.edu.pl](mailto:m.kulig@prz.edu.pl)

<sup>2</sup> Iga Lizak, student, Politechnika Rzeszowska, e-mail: [igalizak@wp.pl](mailto:igalizak@wp.pl)



Rys. 1. Alpaki

Nauka, która zajmuje się włosom to trychologia. Trychologia to dział medycyny, który rozwinął się dopiero w połowie XIX w. Pochodzenie słowa trychologia sięga półwyspu Peloponez, który był częścią historycznej Lakonii. Sama nazwa wywodzi się z języka greckiego „trikhos” i jest ona odpowiednikiem pojęcia „włos” w języku polskim. Za nowatorów tej gałęzi uważa się Brytyjczyków. Jednym z nich był prof. Wheeler, który podjął się badań mających na celu znalezienie czynnika, którego skutkiem było wypadanie włosów, a także zaproponował różne sposoby leczenia. Kolejną przełomową datą w trychologii jest założenie Instytutu Trychologów, które miało miejsce w 1902 r. Zdobyte tam doświadczenie w 1928 r. dało początek pierwszej na świecie specjalistycznej instytucji – The Scalp and Hair Hospital z siedzibą w Londynie, która zajęła się leczeniem schorzeń związanych ze skórą głowy a także utratą włosów. Inną placówką, z zasięgiem ogólnoswiatowym jest Association o Trichologists (IAT). Założono ją w 70-tych latach XX wieku w Kalifornii. Do polskich prekursorów trychologii należą profesor Wojciech Kostanecki oraz dr Doman Michałowski, którzy w 70-tych latach wydali swoje książki np. Choroby włosów – książka prof. Wojciecha Kostaneckiego [3].

Wełna pochodząca z alpak, której pozyskiwanie obecnie staje się coraz bardziej popularne, powinna być charakteryzowana pod względem średnicy włosa. W literaturze można spotkać pomiar średnicy włosa z użyciem mikroskopu skaningowego (SEM) i aparatu Laser-Scan [4]. W tym celu wykorzystujemy technikę laserowa stosując dyfrakcję światła. Metoda optyczna jest bezstykowa, zdalna i bezinercyjna.

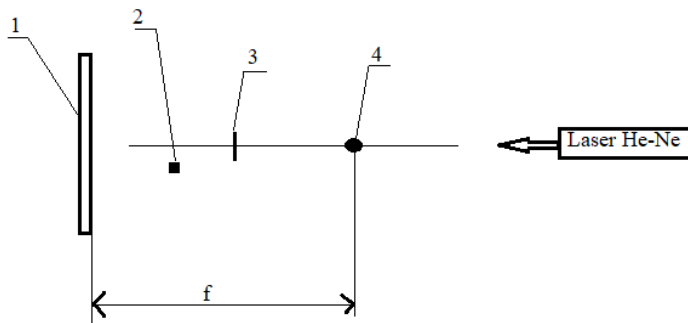
Jako wzorzec długości w układzie pomiarowym posłuży długość fali promieniowania pochodzącego z lasera, która oświetla włókno i w efekcie ulegnie zjawisku dyfrakcji. W wyniku tego na ekranie otrzymujemy rozkład prążków dyfrakcyjnych, który w daje obraz identyczny do obrazu długiej i wąskiej szczeliny. Do rejestracji obrazu dyfrakcyjnego wykorzystano aparat fotograficzny.



Rys. 2 Wełna alpaki: a) ruda, b) jasna, c) brązowa

## 2. UKŁAD POMIAROWY

Układ pomiarowy składa się z lasera Ne-Ne, maski do wycinania prążką rzędu zerowego, ekranu, na którym można było obserwować prążki dyfrakcyjne, aparatu fotograficznego do rejestracji prążków.



Rys. 2. Układ pomiarowy do określania średnicy włosa,  $f$  – odległość włosa od ekranu, 1 – ekran, 2 – aparat fotograficzny, 3 – maska, 4 – włos



Rys. 3. Rozkład prążków dyfrakcyjnych dla włosa jasnego

### 3. OBLICZENIA ŚREDNICY WŁOSA

Zgodnie z zasadą Babinet'a obszary nieprzezroczyste i przezroczyste są obszarami dopełniającymi, zatem otrzymane rozkłady prążków dyfrakcyjnych są identyczne.

Korzystając ze wzoru [5,6]:

$$I(x) = A^2 d^2 \frac{\sin^2\left(\frac{x\pi d}{\lambda f}\right)}{\left(\frac{x\pi d}{\lambda f}\right)^2}$$

gdzie:  $I(x)$  – natężenie światła,  $d$  – średnica włosa,  $\lambda$  – długość fali,  $f$  – odległość włosa od ekranu,  $x$  – współrzędna wzdłuż obrazu dyfrakcyjnego na ekranie.

Uwzględniając:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^2\left(\frac{\pi dx}{\lambda f}\right)}{\left(\frac{x\pi d}{\lambda f}\right)^2} = 1 \text{ to dla } x = 0 \quad I(x) = I_0$$

Minima występują dla danych wartości  $x$ :

$$\frac{\pi dx}{\lambda f} = k\pi \rightarrow x = \frac{k\lambda f}{d}, \text{ gdzie } k - \text{rząd prążka}$$

Dopasowywanie rastrów do każdego rozkładu prążków jest możliwe z uwagi na stałe odległości pomiędzy prążkami. Wykorzystując położenie ciemnych prążków obliczamy średnicę włosa za pomocą wzoru:

$$d = \frac{k\lambda f}{x}$$

Przykładowo obliczono średnicę jasnego włosa:

$$d = \frac{1 \cdot 6,328 \cdot 10^{-7} \cdot 0,6}{0,012}$$

$$d = 0,0316 \text{ [mm]}$$

Tabela 1. Wyniki obliczeń średnic poszczególnych włosów

Włos/hair	Raster [mm]	x [m]	f [m]	d [mm]
Rudy/red	12	0,024	0,955	0,0504 ± 0,0051
Jasny/light	12	0,024	0,6	0,0316 ± 0,0032
Brązowy/brown	8	0,016	0,675	0,0534 ± 0,0081

Niepewność standardowa typu B:

$$\Delta f = 0,003m$$

$$u(f) = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}}$$

$$u(f) = \frac{0,003}{\sqrt{3}} = 0,00174 [m]$$

$$\Delta x = 0,001m$$

$$u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$$

$$u(x) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58 [mm] = 0,00058 [m]$$

Niepewność rozszerzona:

$$U(f) = k \cdot u(f)$$

Dla  $k = 2$ :

$$U(f) = 2 \cdot 0,00173 = 0,0035 [m]$$

Dla  $x$ :

$$U(x) = k \cdot u(x)$$

Dla  $k = 2$ :

$$U(x) = 2 \cdot 0,00057735 = 0,0012 [m]$$

Obliczono niepewność wyniku  $u(d)$  dla pomiaru średnicy jasnego włosa:

$$u(d) = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial x} \cdot u(x)\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial f} \cdot u(f)\right)^2} = \sqrt{\left(-\frac{\lambda f}{x^2} \cdot u(x)\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{x} \cdot u(f)\right)^2}$$

$$u(d) = \sqrt{\left(-\frac{0,633 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6}{0,012^2} \cdot 0,0012\right)^2 + \left(\frac{0,633 \cdot 10^{-6}}{0,012} \cdot 0,0035\right)^2}$$

$$\approx 0,0032 [mm]$$

Włos suri ma średnicę ok. 30-35 mikronów. Dla porównania: włos ludzki zwykle ma średnicę 40-120 mikronów, włos kóz kaszmirskich 16-17 mikronów, a grubość kartki papieru to ok. 100 mikronów [7].

#### 4. PODSUMOWANIE

Układ pomiarowy z użyciem dyfrakcji światła umożliwia wyznaczenie średnicy cienkiego włosa. Pomiar jest zdalny, bezstykowy i bezinercyjny. W pracy wykonano pomiar średnicy włosa alpaki. Średnica włosa ludzkiego ok. 0,07 mm jest większa od średnicy włosa alpaki.

Układ pomiarowy nadaje się do wyszukiwania bardzo cienkich włosów między innymi alpaki. Cena alpaki jest tym większa im mniejsza jest średnica włosa.

Jakość wełny pochodzącej z alpaki jest zależna od średnicy włosa. Wełna najlepszej jakości cechuje się bardzo małą średnicą włosa. Najniższą średnicę włosa uzyskała alpaka o barwie wełny jasnej, wynosi: 0,032 mm.

Na niepewność średnicy włosa składa się niepewność dopasowania rastra do rozkładu prążków dyfrakcyjnych oraz niepewność odległości włosa od ekranu.

Największy wpływ na niepewność określenia średnicy włosa ma niepewność określenia położenia prążków dyfrakcyjnych. Zaleca się wykorzystanie kamery liniowej do rejestracji rozkładu prążków dyfrakcyjnych.

#### LITERATURA

- [1] H. Komosińska, E. Podsiadło, *Ssaki kopytne: przewodnik*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.
- [2] A. Morales Villavicencio, *Chów alpaki*, Oficyna Wydawnicza Multico, 2010.
- [3] W. Słupsek, *Trychologia kosmetyczna, Pielęgnacja skóry głowy i włosów*, Wydawnictwo FT Concept, 2016.
- [4] Z. Czapliski, *Properties and Structure of Polish Alpaca Wool*, FIBRES&TEXTILES in Eastern Europe, 2012, 20,1 (90).
- [5] T. Więcek, *Lasery układy pomiarowe do wyznaczania właściwości sprężystych włókien konstrukcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2011.
- [6] G.B. Parrent, B.J. Thompson, *Notatnik optyki fizycznej*, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 1976.
- [7] E.M. Kuźnicka, *Kolorowy świat Inków – wełna andyjskich wielbłądowatych jako surowiec Część I. Hodowla wikunii, alpaki i lam od imperium Inków do czasów obecnych*, Wiadomości Zootechniczne, R. LIX (2021), 1–2.

DOI: 10.7862/rf.2023.pfe.1

Wpłynęło: 12.01.2023

Zaakceptowano: 27.03.2023

Opublikowano: 29.04.2023