

AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU-BIAŁEJ

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Anna Kicińska-Jakubowska

WPŁYW SKŁADU MIESZANKI WEŁNY OWIEC Z TERENÓW GÓRSKICH I WŁÓKIEN ŁYKOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI BARIEROWE MAT PRZEZNACZONYCH DO IZOLACJI TERMICZNEJ I AKUSTYCZNEJ

Promotorzy:

prof. dr hab. inż. Jan Broda

dr hab. inż. Małgorzata Zimniewska, prof. IWNiRZ-PIB

Bielsko-Biała, 2022

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania Promotorom pracy

prof. dr hab. inż. Janowi Brodzie

oraz

dr hab. inż. Małgorzacie Zimniewskiej, prof. IWNiRZ-PIB

*za pomoc, mobilizację i cenne wskazówki w trakcie
przygotowywania pracy.*

4.3.3	Ocena wytworzonych mat	44
4.3.3.1	Grubość	45
4.3.3.2	Masa powierzchniowa	45
4.3.3.3	Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie	45
4.3.3.4	Przepuszczalność powietrza	45
4.3.3.5	Opór cieplny – R_{ct}	45
4.3.3.6	Współczynnik przewodzenia ciepła – λ	46
4.3.3.7	Współczynnik pochłaniania dźwięku – α	46
4.3.3.8	Badanie reakcji na ogień	46
4.3.3.9	Badanie termostabilności i analiza związków wydzielonych podczas termicznego rozpadu w warunkach pirolizy.....	46
5.	Wyniki badań i dyskusja wyników badań surowców oraz wytworzonych z nich materiałów izolacyjnych.....	48
5.1	Wełna owcza.....	48
5.1.1.1	Charakterystyka wybranych ras owiec hodowanych w Polsce na terenach górskich i podgórskich	48
5.1.2	Wyniki badań włókien wełnianych	60
5.1.2.1	Badania morfologii powierzchni i przekrojów poprzecznych włókien	66
5.1.2.1.1	Okrywa mieszana (M)	67
5.1.2.1.2	Okrywa jednolita (J)	75
5.1.2.2	Ocena średnicy włókien wełnianych.....	81
5.1.2.3	Ocena długości włókien wełnianych.....	87
5.1.2.4	Ocena higroskopijności wełny owczej badanej w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza.....	89
5.1.2.5	Oznaczenie zawartości zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego	91
5.1.2.6	Oznaczanie zawartości substancji tłuszczowych w wełnie potnej	94
5.1.2.7	Ocena koloru wełny.....	96
5.2	Włókna łykowe	98
5.2.1	Wyniki badań włókien łykowych	98
5.2.1.1	Długość.....	98
5.2.1.2	Masa liniowa.....	98
5.2.1.3	Zawartość zanieczyszczeń	98
5.2.1.4	Siła zrywająca i wydłużenie.....	99
5.2.1.5	Ocena higroskopijności włókien łykowych badanych w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza	99
5.3	Maty.....	100

5.3.1	Wyniki badań fizyko-mechanicznych wytworzonych mat	100
5.3.1.1	Grubość	100
5.3.1.2	Masa powierzchniowa	102
5.3.1.3	Przepuszczalność powietrza	103
5.3.1.4	Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie	104
5.3.2	Właściwości barierowe mat w zakresie izolacyjności cieplnej	106
	i akustycznej	106
5.3.2.1	Izolacyjność cieplna	106
5.3.2.1.1	Opór cieplny R_{ct}	106
5.3.2.1.2	Współczynnik przewodzenia ciepła λ	107
5.3.2.2	Izolacyjność akustyczna	108
5.3.2.2.1	Współczynnik pochłaniania dźwięku α i redukcji hałasu NRC	108
5.3.3	Wyniki badań reakcji na ogień i termostabilności mat	112
5.3.3.1	Badanie reakcji na ogień	112
5.3.3.2	Badanie termostabilności i analiza związków wydzielonych podczas termicznego rozpadu w warunkach pirolizy	113
6.	Podsumowanie	120
7.	Wnioski	124
8.	Bibliografia	125

Streszczenie

Rozprawa doktorska poświęcona jest badaniom wpływu składu mieszanki wełny pochodzącej od owiec z polskich terenów górskich i włókien łykowych na właściwości barierowe mat przeznaczonych do izolacji termicznej i akustycznej. W ramach pracy sformułowano tezę, która zakłada, że wzrost udziału wełny owczej w mieszance z włóknami łykowymi wpływa na obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła oraz na obniżenie zdolności pochłaniania dźwięku materiałów izolacyjnych wykonanych z tych włókien.

W części bibliograficznej przedstawiono doniesienia literaturowe dotyczące wełny owczej, włókien łykowych oraz wykorzystania tych włókien w wyrobach przeznaczonych do izolacji termicznej i akustycznej. W przeglądzie literatury dotyczącym, wełny zawarto dane związane ze skalą produkcji runa owczego, informacje na temat budowy wełny, typów okrywy wełnistej, czynników wpływających na jakość wełny oraz jej właściwości w kontekście zastosowań. W materiale dotyczącym włókien łykowych, uwzględniono dane dotyczące światowej produkcji włókna lnianego, a także arealu upraw lnu i konopi w Polsce. Podano informacje na temat budowy łodygi roślin łykowych oraz budowy włókna łykowego jak też sposobu i metod pozyskiwania włókna z roślin włóknistych. Wyodrębniono właściwości włókien łykowych w aspekcie ich zastosowań. W dalszej części przedstawiono informacje dotyczące wykorzystania ww. włókien w wyrobach barierowych i pochłaniających dźwięki z uwzględnieniem przeglądu produktów na bazie włókien naturalnych do zastosowań izolacyjnych, które są dostępne w Polsce.

W części doświadczalnej przedstawiono charakterystykę materiału badawczego wykorzystanego do przeprowadzenia prac, informacje na temat przygotowania włókien łykowych do wytwarzania mat w mieszance z wełną ze szczególnym uwzględnieniem powstawania odpadów produkcyjnych podczas wytwarzania sznurków, a także przygotowania mieszanki lnu i konopi do wytwarzania mat. W celu wytypowania materiału do badań przyjęto kryterium konieczności zagospodarowania odpadów rodzimych włókien naturalnych oraz wytwarzania bio-produktów realizując założenia strategii zero odpadów oraz gospodarki obiegu zamkniętego. W części tej opisano również proces wytwarzania mat w skali przemysłowej z wykorzystaniem ciągu urządzeń przeznaczonych do przerobu włókien łykowych.

Mając na uwadze, z jednej strony globalne rosnące zainteresowanie włóknami naturalnymi a z drugiej strony problemy hodowców owiec szczególnie z terenów Polski południowej, wynikające z trudności w zbyciu i zagospodarowania krajowej wełny pochodzącej od ras owiec hodowanych na terenach górskich i podgórskich, dokonano przeglądu hodowli

z uwzględnieniem ras owiec z ww. terenów, a także scharakteryzowano wełnę pochodzącą od różnych ras pod kątem potencjału w zakresie możliwości aplikacyjnych tej wełny w połączeniu z włóknami łykowymi. Szczególną uwagę skupiono na rasach owiec typowo górskich, których wełna jest gruba i niejednorodna a jej jakość praktycznie uniemożliwia produkcję wysokiej klasy wyrobów do celów odzieżowych. Surowiec taki stanowi zatem wyzwanie zarówno dla przedsiębiorców jak i naukowców w zakresie wskazania jego efektywnego wykorzystania. Przebadano runo pochodzące od 14 różnych ras owiec o runie mieszanym (M) i jednolitym (J) z różnych województw Polski południowej. Przeprowadzono szczegółową analizę struktury powierzchniowej i przekrojów poprzecznych wełny, ocenę średnicy włókien, długości, zawartości zanieczyszczeń oraz substancji tłuszczowych w wełnie potnej, higroskopijności w różnych warunkach wilgotności względnej powietrza oraz dokonano oceny intensywności koloru. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano różnice w wełnie nie tylko między rasami owiec, ale także w obrębie tych samych rasy pochodzących z różnych stad. Uzyskane wyniki badań wełny różnych ras owiec, a także dostępność surowca umożliwiającą przerób przemysłowy pozwoliły na wytypowanie wełny pochodzącej od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego do przeprowadzenia prób wytworzenia mat mieszkankowych z różnym udziałem wełny owczej w stosunku do włókien łykowych odpadowych.

Odpadowe włókna łykowe poddano badaniom w zakresie długości, masy liniowej, wytrzymałości i higroskopijności. W kolejnym etapie przeprowadzono badania mat wytworzonych w różnej konfiguracji zawartości procentowej włókien naturalnych, tzn. 100% włókien łykowych; mieszankach 25% wełna/75% włókna łykowe; 50% wełna/50% włókna łykowe; 75% wełna/25% włókna łykowe oraz 100% wełny. Maty oceniono pod kątem parametrów metrologicznych takich jak grubość, masa powierzchniowa, wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie, przepuszczalność powietrza, a także parametrów określających ich właściwości barierowe, takich jak opór cieplny, współczynnik przewodzenia ciepła λ , współczynnik pochłaniania dźwięku α oraz współczynnik redukcji hałasu NRC. Ponadto przeprowadzono badanie reakcji na ogień oraz termostabilności i wydzielanych związków podczas pirolizy.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na udowodnienie tezy pracy i potwierdziły, że maty opracowane na bazie wełny pochodzącej od Polskiej owcy górskiej oraz odpadowych włókien łykowych, wykazują właściwości barierowe w zakresie izolacyjności cieplnej i pochłaniania dźwięku w średnich i dużych częstotliwościach, przy czym udział poszczególnych włókien w mieszance ma wpływ na właściwości wyrobu. Maty wytworzone z mieszanki o wyższym udziale wełny charakteryzują się niższym współczynnikiem przewodzenia ciepła, natomiast maty o wyższym udziale włókien łykowych wykazują większą zdolność do pochłaniania dźwięków.

Słowa kluczowe: wełna, owce w Polsce, odpady lniane i konopne, maty, materiały izolacyjne, izolacja termiczna, pochłanianie dźwięku

Abstract

The doctoral thesis discusses the influence of the composition of the wool fibre blend from sheep from Polish mountain areas and bast fibres on the barrier properties of mats intended for thermal and acoustic insulation. The main thesis assumes that the increase in the proportion of sheep wool in a blend with bast fibres reduces the heat conductivity coefficient and reduces the sound absorption capacity of barrier materials made of these fibres.

The bibliographic part represents literature report on sheep wool, bast fibres and the use of these fibres in products intended for thermal insulation and absorbing sound waves. The literature review on wool contains data related to the scale of sheep fleece production, information on the structure of wool, types of wool cover, factors influencing the quality of wool and its properties in the context of applications. The bibliography on bast fibres includes data on the global production of flax fibre as well as the area of flax and hemp cultivation in Poland. Additionally, information on the structure of the bast plant stem and the structure of bast fibre as well as the methods of extracting the fibre from fibrous plants is presented. Properties of bast fibres were distinguished in terms of their applications. Information on the use of the above-mentioned fibres in barrier and sound-absorbing products were presented, including a review of natural fibre-based insulation products available in Poland.

The experimental part contains the characteristics of the research material used to carry out the work and information on the preparation of bast fibres blended with wool for the production of mats, with particular emphasis on use of wastes evolving during the manufacture of strings. It also covers the preparation of a blend of flax and hemp fibres for the production of mats. In order to select the material for research, the criterion of the necessity to use the waste of native natural fibres and the production of bio-products was adopted, implementing the assumptions of the zero-waste strategy and the circular economy. This part also presents the process of manufacturing mats on an industrial scale with the use of a series of devices designed for processing bast fibres.

Bearing in mind, the global growing interest in natural fibres on the one hand and the problems of sheep growers on the second hand, resulting from difficulties in selling and managing domestic wool from sheep breeds grown especially in southern Poland, the review was conducted taking into account sheep breeds from the above-mentioned areas. Besides, the wool from different breeds was characterized in terms of the potential for applications in combination with bast fibres. Particular attention was paid to the breeds of typical mountain sheep, whose wool is thick and heterogeneous, and practically its quality make it impossible to

produce high-class products for clothing purposes. Therefore it is a challenge for both, entrepreneurs and scientists in terms of indicating its effective use. The study was carried out on fleeces from 14 different breeds of sheep with mixed (M) and uniform (J) fleece, from different voivodeships in southern Poland. A detailed analysis of the surface structure and cross-sections of the wool was carried out. The fibre diameter, length, content of impurities and fatty substances in greasy wool, hygroscopicity under various conditions of relative air humidity and the colour intensity were assessed. As a result of the conducted analysis, differences in wool were found not only between sheep breeds, but also within the same breeds from different flock. The obtained results of the research and the availability of the raw material on an industrial scale made it possible to select wool from Polish mountain sheep from the Śląskie Voivodeship for test to produce mixed mats with a different proportion of sheep wool in relation to waste bast fibres.

Waste bast fibres were tested thoroughly in terms of length, linear density, strength and hygroscopicity. In the following stage, tests were carried out by manufacturing mats with a different concentration of the percentage of natural fibres, i.e. 100% bast fibres; 25% wool/75% bast fibres; 50% wool/50% bast fibres; 75% wool/25% bast fibres; 100% wool. The mats were assessed in respect of metrological parameters such as thickness, surface weight, tensile strength and elongation, air permeability, as well as parameters determining their barrier properties, such as thermal resistance, thermal conductivity coefficient λ , sound absorption coefficient α and noise reduction coefficient NRC. In addition, the reaction to fire as well as thermal stability and compounds released during pyrolysis combustion were tested.

The obtained results of the study proved the developed thesis and confirmed that mats made on the basis of wool from Polish mountain sheep and waste bast fibres, show barrier properties in terms of thermal insulation and sound absorption of medium and high frequencies. However, the share of individual fibres in the blend has an impact on the properties of the product. Mats made of a blend with a higher proportion of wool are characterized by a lower heat conductivity coefficient, while mats with a higher proportion of bast fibres show a greater ability to absorb sounds.

Keywords: wool, sheep in Poland, flax and hemp wastes, mats, insulation material, thermal insulation, sound absorption.

1. Wstęp

Obecnie na świecie obserwuje się wzmożone zainteresowanie włóknami pochodzenia naturalnego a jednocześnie wyrobami z udziałem tych włókien. Szczególnie dziś w dobie panującego światowego trendu powrotu do natury, gdzie priorytetem staje się świadome wykorzystanie i zagospodarowanie surowców dostarczanych człowiekowi przez naturę oraz dążenie do ograniczenia wykorzystywania tworzyw sztucznych, przyczyniających się do wzrostu ilości niebiodegradowalnych odpadów stanowiących obciążenie dla środowiska, zarówno włókna pochodzenia zwierzęcego jak i roślinnego, jako naturalne w pełni biodegradowalne surowce o cennych właściwościach zyskują na znaczeniu. Włókna naturalne pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, oprócz przemysłu włókienniczego, wykorzystywane są na szeroką skalę niemalże we wszystkich dziedzinach gospodarki.

Cały łańcuch wartości naturalnych surowców włókienniczych jak wełna owcza czy włókna pochodzenia roślinnego, począwszy od uprawy roślin włóknistych i hodowli owiec, poprzez procesy przetwórcze a na bio-produktach skończywszy, wpisują się w plan strategii Europejskiego Zielonego Ładu (European Green Deal), który wskazuje konieczność podjęcia konkretnych działań mających na celu osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 r. i zapobieganie degradacji środowiska naturalnego. Jednym z istotnych kierunków działań jest dążenie do wyeliminowania z życia codziennego wyrobów z plastiku, poprzez zastępowanie go surowcami odnawialnymi, naturalnymi oraz wykorzystanie surowców pochodzących z recyklingu [1–5].

W obecnej sytuacji w obliczu poważnych zagrożeń dla klimatu i środowiska, niezwykle istotnym jest koncentrowanie się w Polsce na efektywnym wykorzystaniu krajowych włókienniczych surowców naturalnych jak wełna owcza, len i konopie. Włókna te od wieków wpisane są w tradycję naszego kraju a przez ostatnie lata szczególnie w przypadku wełny owczej grubej, często uważanej za uboczny produkt owczarstwa były traktowane marginalnie. Obecnie trend ten powoli ulega zmianie i po wielu latach kryzysu, surowiec ten z powrotem wraca do wykorzystania w sposób zarówno konwencjonalny jak i do nowych zastosowań.

Wzrost zainteresowania włóknami naturalnymi wpływa na większe zainteresowanie przedsiębiorców, którzy we współpracy z naukowcami, poszukują nowych rozwiązań dla efektywnego wykorzystania krajowych włókien naturalnych również tych o niskiej jakości. W pracy podjęto próby efektywnego wykorzystania krajowych surowców naturalnych w postaci wełny pochodzącej od ras owiec hodowanych na terenach górskich i podgórskich, w połączeniu z surowcem odpadowym w postaci włókien lnianych i konopnych, powstających na etapie

zgrzeblenia wstępnego i właściwego podczas produkcji sznurków. Mając na względzie strategię „zero waste”, stworzenie możliwości zagospodarowania surowców i półproduktów niskiej jakości, które często stanowią niewykorzystany odpad, skłoniły mnie do podjęcia niniejszej tematyki badań. Wełna owcza pochodząca od ras owiec górskich jest wełną grubą i niejednorodną a jej jakość uniemożliwia produkcję wyrobów wysokiej jakości do celów odzieżowych natomiast nadaje się do przetwarzania technikami włókninowymi i do wytwarzania wyrobów technicznych. W związku z tym, iż hodowcy owiec w Polsce mają problem ze zbyciem wełny, istnieje konieczności poszukiwania i wskazania nowych kierunków jej wykorzystania. Opracowane maty na bazie krajowej wełny owczej oraz odpadów lnianych i konopnych są innowacyjnym produktem, którego nie ma obecnie na rynku polskim. Produkty tego typu mogą znaleźć zastosowanie jako element w przegrodach budowlanych, zastępując tradycyjnie i powszechnie stosowany styropian bądź wełnę mineralną lub jako elementy stosowane we wnętrzach poprawiające komfort akustyczny pomieszczeń.

2. Cel i zakres pracy

Cel:

Celem pracy jest zbadanie wpływu składu mieszanki wełniano – lniano – konopnej na właściwości barierowe mat przeznaczonych do izolacji termicznej i akustycznej.

Teza:

Wzrost udziału wełny owczej w mieszance z włóknami łykowymi wpływa na obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła oraz na obniżenie zdolności pochłaniania dźwięku mat izolacyjnych wykonanych z tych włókien.

Zakres pracy:

Zakres prac obejmuje przeprowadzenie analizy jakościowej wełny pochodzącej od różnych ras owiec o runie mieszanym i jednolitym, hodowanych w Polsce na terenach górskich i podgórskich. Wełna owcza pochodząca od ras owiec górskich jest wełną grubą i niejednorodną, a jej niska jakość uniemożliwia wykorzystanie tego surowca do przemysłowej produkcji wyrobów odzieżowych. W związku z powyższym, zostaną podjęte próby przetwarzania wełny technikami włókninowymi w mieszankach z odpadowymi włóknami łykowymi, powstającymi na etapie zgrzeblenia wstępnego i właściwego, podczas produkcji sznurków lnianych lub konopnych. Dwa skrajnie różne surowce czyli wełna i odpadowe włókna łykowe muszą charakteryzować się zbliżoną długością, która pozwoli na łączenie tych włókien w procesie produkcji mat. W ramach prowadzonych prac zostanie przygotowany materiał badawczy niezbędny do udowodnienia tezy, wytworzone będą izolacyjne wyroby techniczne w postaci mat o różnym udziale procentowym wełny owczej w mieszance z włóknami łykowymi. Zakłada się wytworzenie mat o następującym składzie: 100% włókna łykowe; 25% wełna/75% włókna łykowe; 50% wełna/50% włókna łykowe; 75% wełna/25% włókna łykowe oraz 100% wełna. Maty produkowane będą z wykorzystaniem techniki igłowania przy zachowaniu tych samych parametrów procesu dla każdego składu surowcowego mieszanki włókien. Wytworzone próbki mat zostaną poddane badaniom laboratoryjnym w celu określenia ich parametrów fizyko-mechanicznych. Analiza wyników badań pozwoli na ocenę wpływu składu surowcowego mieszanki włókien wykorzystanych do wytworzenia mat, na właściwości barierowe w zakresie izolacyjności cieplnej i pochłaniania dźwięku badanych materiałów.

3. Przegląd literatury

3.1 Wełna owcza

Wełna to naturalny, biodegradowalny, odnawialny i nadający się do recyklingu surowiec o unikalnych właściwościach fizycznych i chemicznych [6]. Wełna należy do grupy włókien białkowych i jest najważniejszym włóknem zwierzęcym stosowanym w przemyśle włókienniczym [7]. Pozyskiwana jest w procesie strzyżenia owiec, który polega na zdjęciu ze zwierzęcia okrywy włosowej, tzw. runa. W wyniku tego procesu uzyskuje się runo zwane wełną potną. W skali światowej otrzymuje się ok. 2,1 miliona ton rocznie wełny potnej [8]. Do największych światowych producentów wełny należą Australia, Chiny, Nowa Zelandia, Południowa Afryka, Argentyna, Wielka Brytania, Mongolia oraz Urugwaj [9]. Wg danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) w Polsce produkcja wełny owczej potnej w 2020 r. wyniosła 926 ton i w porównaniu z 2019 r. zwiększyła się o 35,6 ton, tj. o 4,0 % [10].

W skład runa owczego wchodzi włókna, tłuszczopót, zanieczyszczenia oraz woda. Tłuszczopót chroni włókna przed uszkodzeniami mechanicznymi, posiada także właściwości natłuszczające i bakteriostatyczne. Zawartość tłuszczopotu w runie u różnych ras owiec wynosi od kilku do powyżej 20 %, u merynosów od 14 do 25 % masy runa [11]. Do zanieczyszczeń występujących w runie zalicza się piasek, kurz, grudki gleby, resztki paszy, szczątki roślinne, nasiona. Zawartość zanieczyszczeń w wełnie potnej szacowana jest na poziomie 25–40 % [12]. Usunięcie zanieczyszczeń z wełny owczej potnej następuje w procesie prania.

Usunięty w wyniku prania tłuszczopót jest nietoksyczną biodegradowalną substancją, która stanowi surowiec do produkcji lanoliny. Lanolina znajduje szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki, np.:

- Przemysłu tekstylnym, gdzie wykorzystywana jest jako środek zmiękczający i nadający chwyt jedwabny wyrobom pończosznicy z nylonu,
- Przemysłu kosmetycznym, jako dodatek do produktów do pielęgnacji ciała (kremy, balsamy, mydła, pomadki, szampony, lakiery i środki rozjaśniające włosy),
- Przemysłu farmaceutycznym i medycznym, jako baza do maści bądź składnik chirurgicznych taśm samoprzylepnych,
- Produkcji tworzyw sztucznych oraz jest cennym dodatkiem do farb i lakierów natryskowych [13–16].

Tworzywem wełny jest białko – keratyna. Keratyna zbudowana jest z 19 reszt α -aminokwasów, których udział we włóknie jest różny w zależności od rasy owiec, czasu strzyży,

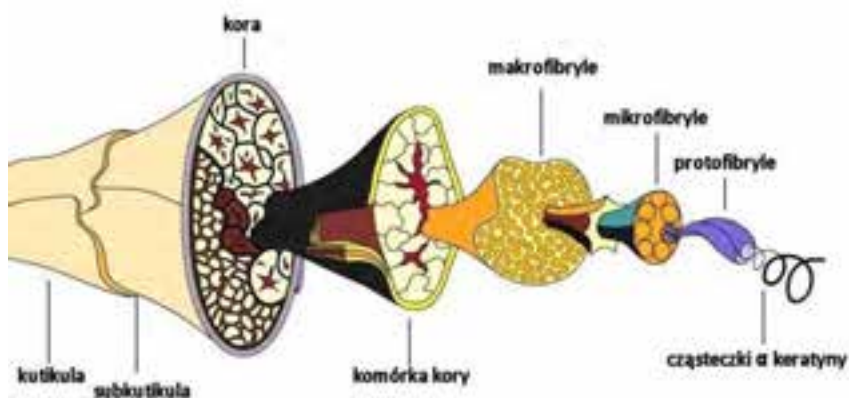
warunków hodowli. Stosunkowo duży udział cystyny (8–16 %) sprawia, że keratyna odznacza się, w porównaniu z innymi białkami, dość dużą zawartością siarki (3–5 %) [17].

Włókno powstaje w wyniku rozmnażania się i rozwoju komórek w cebulce włosowej i stanowi twór wielokomórkowy. Budowę włókna wełny owczej zaprezentowano na rysunku 1.

Głównymi elementami włókna są:

- naskórek (*kutikula*),
- membrana korowa (*subkutikula*),
- kora (*cortex*),
- rdzeń (*medulla*) – występuje w przypadku włosów rdzeniowych.

Kutikula stanowi zewnętrzną warstwę chroniącą włókno przed wpływem czynników fizykochemicznych i mechanicznych. W skład kutikuli wchodzi: epikutikula, egzokutikula oraz endokutikula. Subkutikula jest cienką warstwą, która łączy nabłonek z warstwą korową. Kora stanowi główną część włókna i decyduje o jego fizycznych i chemicznych właściwościach.

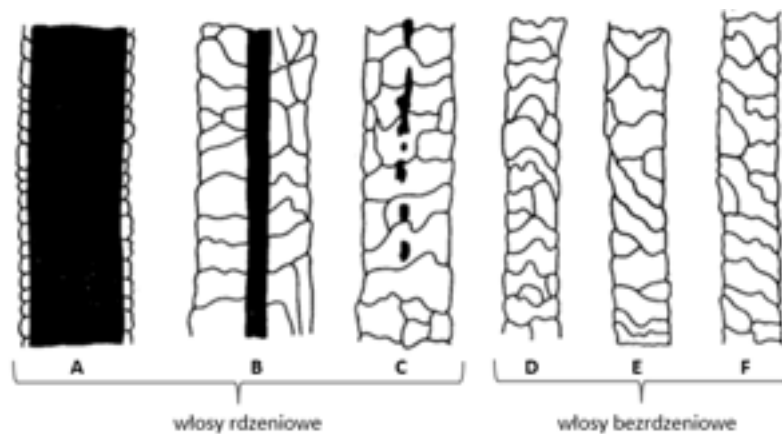


Rysunek 1. Budowa włókna wełny owczej [18].

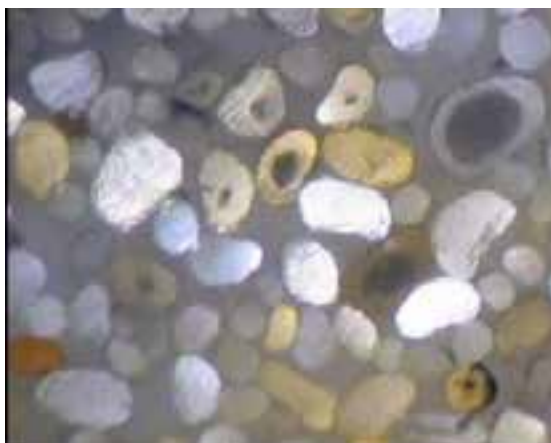
Komórki korowe są na całej długości włókna, otoczone i utrzymywane razem przez kompleks błon komórkowych zawierających białka i woskowate lipidy. Charakterystyczne dla kory słabe wiązania międzycząsteczkowe mogą powodować rozpad cząsteczek pod wpływem czynników mechanicznych bądź chemicznych. Cząsteczki w tym regionie mają dość słabe wiązania międzycząsteczkowe, które mogą się rozpaść pod wpływem działania mechanicznego lub substancji chemicznych. Wewnątrz komórek korowych znajdują się długie makrofibryle, które składają się z mikrofibryl otoczonych matrycą. W skład mikrofibryl wchodzi protofibryle, które składają się z dwóch lub trzech skręconych ze sobą makrocząsteczek α -keratyny [18–20].

W wełnie owczej rozróżnia się trzy typy włosów: rdzeniowe, bezrdzeniowe i przejściowe (Rysunek 2). Włosy bezrdzeniowe (puchowe) są cienkie a ich średnica waha się w granicach 10–30 μm . Włosy rdzeniowe są zwykle grube, ich średnica waha się od 50–90 μm [21]. Rdzeń pojawia się w korze włókna w momencie, gdy nie dochodzi do całkowitego wypełnienia komórek

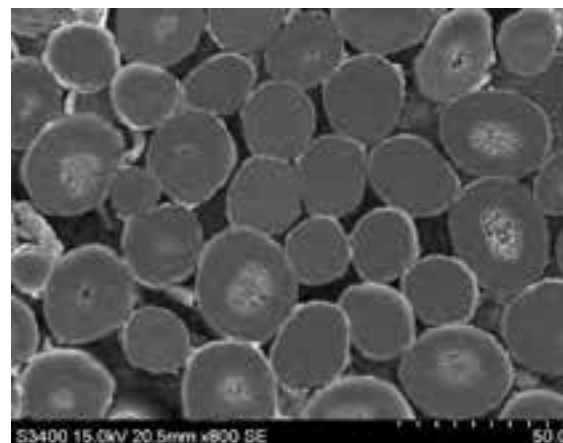
keratyną. Rdzeń stanowi warstwę dużych cienkościennych komórek wypełnionych powietrzem. Występowanie we włosie rdzenia pogarsza jego właściwości wytrzymałościowe oraz obniża sprężystość. Do włosów rdzeniowych należą np. włosy martwe tzw. kemp. Średnica włosów typu kemp osiąga nawet 260 μm a rozbudowany rdzeń stanowi od 50–90 % średnicy włókna [19, 21]. Włosy kempowe są kruche, łamliwe i posiadają barwę kredowo-mleczną. Włosy przejściowe z rdzeniem przerywanym, stanowią formę pośrednią pomiędzy włosami bezrdzeniowymi a rdzeniowymi. Średnica włosów przejściowych waha się w granicach 30–50 μm . Rdzeń przerywany występuje na krótkich odcinkach włókna. Włosy takie występują zarówno u ras owiec szlachetnych jak i prymitywnych [21]. Rysunek 2 prezentuje szkic włosów rdzeniowych i bezrdzeniowych. Rysunki 3 i 4 przedstawiają fotografie przekrojów poprzecznych wełny owczej z widocznymi włóknami rdzeniowymi oraz bezrdzeniowymi.



Rysunek 2. Włosy rdzeniowe i bezrdzeniowe (A – włos kempowy, B – włos o rdzeniu ciągłym, C – włos o rdzeniu przerywanym (przejściowy), D,E,F – włosy bezrdzeniowe [19,21].



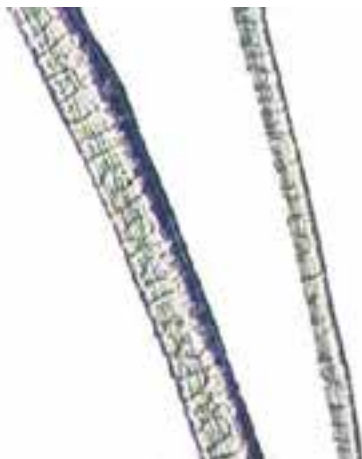
Rysunek 3. Przekrój poprzeczny wełny owczej z widocznymi włóknami rdzeniowymi i bezrdzeniowymi. Fotografia wykonana przy pomocy mikroskopu optycznego. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



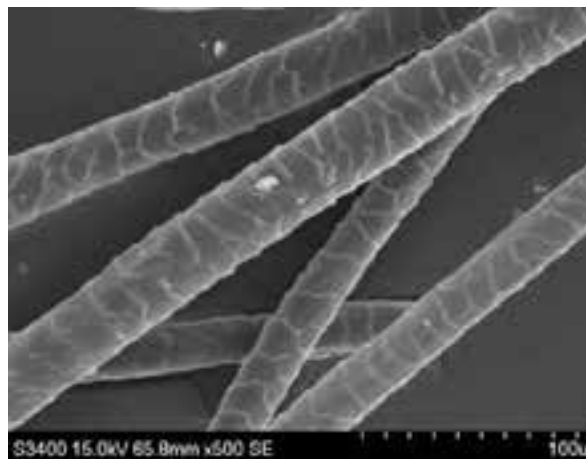
Rysunek 4. Przekrój poprzeczny wełny owczej z widocznymi włóknami rdzeniowymi i bezrdzeniowymi. Mikrofotografia wykonana przy pomocy Elektronowego Mikroskopu Skaningowego. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Włókna wełniane w przekroju poprzecznym (Rysunki 3 i 4) przyjmują kształty zbliżone do kołowego (owalny lub eliptyczny) [22]. Włókna grube charakteryzują się występowaniem rdzenia.

Wełna w widoku wzdłużnym posiada widoczny kształt cylindryczny oraz wyraźnie zaznaczone łuski [22]. Następstwem łuskowatej powierzchni włókna jest zdolność włókien do spilśniania. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono widoki wzdłużne włókien wełnianych z charakterystycznymi łuskami występującymi na ich powierzchni [23].



Rysunek 5. Widok wzdłużny wełny owczej. Fotografia wykonana przy pomocy mikroskopu optycznego. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 6. Widok wzdłużny wełny owczej. Mikrografia wykonana przy pomocy Elektronowego Mikroskopu Skaningowego. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Wyróżnia się dwa typy okrywy wełnistej, okrywę wełnistą jednolitą oraz mieszaną. Okrywa jednolita składa się z jednego rodzaju włosów, które posiadają zbliżoną długość oraz grubość. Podstawowym elementem okrywy jednolitej są słupki (Rysunek 7). Rozróżnia się:

- słupki cylindryczne, które tworzą włosy bezrdzeniowe, wyrównane pod względem grubości i długości oraz karbikowania. Tworzą runo zwarte. Słupki tego rodzaju są charakterystyczne dla wełny merynosowej.
- słupki stożkowe, charakteryzują się mniejszą gęstością, zróżnicowaną długością i grubością włosów. Tworzą runo półotwarte. Słupki tego rodzaju są typowe dla owiec długowełnistych.
- słupki maczugowate, które tworzą zazwyczaj okrywy rzadkie. Cechują się niejednorodną grubością włókien i nierównomiernym karbikowaniem [21].



Rysunek 7. Kształty słupków, A–cylindryczny, B–stożkowaty, C–maczugowaty [24].

Rozróżnia się trzy typy okrywy jednolitej:

- jednolitą cienką, typową dla merynosów i zbudowaną z słupków cylindrycznych,
- jednolitą średnią, typową dla polskich owiec nizinnych, owiec długowełnistych oraz ras mięsnych i mieszańców. Okrywa ta zbudowana jest z słupków stożkowych,
- jednolitą grubą, typową dla niektórych owiec ras angielskich (np. Kent).

Okrywę wełnistą mieszaną tworzą różne rodzaje włosów o różnej grubości i różnej długości (włosy puchowe, przejściowe, rdzeniowe). Tego typu okrywa występuje u większości ras prymitywnych. W okrywie mieszanej rozróżnia się następujące frakcje:

- wewnętrzną, która składa się z cienkich, krótkich i najliczniej występujących włosów puchowych, bezrdzeniowych,
- środkową, która składa się z grubszych i dłuższych włosów, najczęściej z włosów przejściowych z rdzeniem przerywanym,
- zewnętrzną, która składa się z włosów najgrubszych i najdłuższych.

Podstawowym elementem okrywy mieszanej są kosmyki, które dzieli się na proste, stożkowe oraz loczkowe [21].

Jakość surowca wełnianego uzależniona jest od bardzo wielu czynników do których należą przede wszystkim rasa owiec, warunki środowiskowe hodowli owiec, sposób i miejsce pozyskania runa. Wyodrębnia się około 50 cech jakościowych wełny, nie wszystkie jednak mają równorzędne znaczenie [25]. Cechy jakościowe wełny można podzielić na podstawowe, takie jak grubość i długość oraz drugorzędne jak karbikowanie, barwa, połysk itp. Najważniejszą cechą związaną z możliwościami technologicznymi przerobu wełny jest grubość. Grubość włókien w obrębie jednego runa jest zróżnicowana zależnie od partii ciała owcy z którego włókna pochodzą. Zazwyczaj wełna najcieńsza występuje na łopatce, natomiast najgrubsza porasta udziec [25]. Długość włókien wyznacza system przerobu wełny. W zależności od długości, wełnę przeznaczają się do przerobu systemem czesankowym bądź systemem zgrzebnym. Wełna o długości minimum 5 cm to wełna czesankowa, natomiast wełna do przerobu systemem zgrzebnym nie może być krótsza niż 2 cm. Wełnę grubą i długą wykorzystuje się do produkcji dywanów.

Wełna owcza posiada szereg właściwości wyróżniających ją spośród innych włókien naturalnych i mających wpływ na jej potencjalne wykorzystanie w przemyśle włókienniczym. Za najważniejsze cechy użytkowe wełny uznaje się jej wysoką higroskopijność, doskonałe właściwości termoizolacyjne i dźwiękochłonne, odporność oraz zdolność do spłśniania. Wełna jest włóknem najbardziej higroskopijnym ze wszystkich włókien naturalnych. Wg różnych danych

literaturowych wełna potrafi wchłonąć ok. 33–35 % wilgoci w stosunku do swojej masy [11, 16, 26, 27].

Głównym obszarem zastosowania wełny są wyroby odzieżowe, do których produkcji przeznaczona jest wełna cienka. Odzież wełniana zapewnia wysoki komfort fizjologiczny, naturalnie pochłania parę wodną i zapewnia skórze swobodne oddychanie [11, 26]. Zaletą jest to, że wełna doskonale nadaje się np. na odzież dla osób pracujących fizycznie w trudnych warunkach klimatycznych, a także na odzież dla sportowców. Wełna wykazuje bardzo dobre właściwości termoizolacyjne, które wynikają z porowatej budowy wewnętrznej, a także skarbikowanego kształtu włókien. W wyniku skarbikowania w pofałdowaniach włókien zostają unieruchamiane pęcherze powietrza, spełniające rolę izolatorów ciepła. Bardzo istotną zaletą wełny jest zdolność powrotu do stanu pierwotnego po poddaniu jej silnemu uciskowi (odprężność). Cecha ta decyduje o niegniotliwości i odprężności finalnych produktów wykonanych z wełny [20]. Zdolność do spilśniania czyli filcowania jest cechą wynikającą z łuskowatej budowy kutikuli. Jest to zdolność do zbijania się włókien w nierozrywalną masę w warunkach podwyższonej wilgotności, temperatury i mechanicznego oddziaływania. Cecha ta daje możliwość wytwarzania filców. W przypadku wyrobów odzieżowych stanowi wadę, która wpływa na pogorszenie walorów estetycznych ubiorów.

Wełna jest surowcem trudnopalnym, podczas spalania nie topi się, nie pali się płomieniem, lecz zwęglą. Ognioodporność wełny wynika z wysokiej zawartości azotu [26]. Struktura usieciowanej membrany komórkowej wełny pęcznieje po podgrzaniu do punktu spalania, tworząc warstwę izolacyjną, która zapobiega rozprzestrzenianiu się płomieni. Podczas spalania wełny, powstaje mniej dymu i toksycznych gazów niż podczas spalania włókien syntetycznych. Dzięki tej właściwości wyroby wełniane zapewniają wyższy poziom bezpieczeństwa przeciwpożarowego w porównaniu z innymi włóknami. Zaletą jest to, że predysponuje wełnę do wytwarzania wyrobów, które można stosować w miejscach użyteczności publicznej. Wyroby wykonane na bazie wełny, pomagają zmniejszyć ryzyko rozprzestrzeniania się ognia w domu podczas pożaru. Właściwości trudnopalne stanowią dodatkową zaletę wełny sprawiającą, że wytworzone z niej wyroby takie jak dywany, zasłony, tapicerka, koce i pościel są chętnie stosowane w codziennym życiu we wnętrzach mieszkań. Wełna wykorzystywana jest także do wytwarzania wyrobów o szczególnych walorach zdrowotnych mających działanie profilaktyczno-rehabilitacyjne. Do wyrobów takich należą różnego rodzaju pasy lecznicze, pledy, kamizelki, poduszki, kołdry. Dzięki wykorzystaniu naturalnej ciepłochronności wełny, surowiec ten doskonale nadaje się do wytwarzania wyrobów łagodzących dolegliwości bólowe powodowane przez schorzenia kostno-stawowe, a także mięśniowe. Badacze [28] wykazali, że u pacjentów obciążonych fibromialgią, którzy przez okres 20 tygodni użytkowali bieliznę wełnianą, pościel, materace,

poduszki wykonane z wełny owczej, nastąpiło zmniejszenie odczuwania poziomego bólu mięśni i stawów, co wpłynęło na poprawę komfortu ich życia.

Inną dziedziną, w której wełna owcza znajduje zastosowanie jest inżynieria lądowa. Może zostać także wykorzystana w postaci geotekstyliów do wzmacniania rowów przydrożnych w formie lin wytworzonych techniką Kemafil i wypełnionych odpadami włókninowymi na bazie wełny, które powstają z odpadów włókninowych [29]. Zastosowane w rowach geowłókniny zapewniają natychmiastową ich ochronę przed erozją. Badacze [30] wykazali, że biodegradacja wełny rozpoczyna się szybko po zakopaniu liny w glebie, ale zachodzi stosunkowo powoli, znacznie wolniej w porównaniu z materiałami celulozowymi. Dzięki powolnej biodegradacji, liny zachowują swój potencjał ochronny przez kilka miesięcy. Ten czas powinien wystarczyć do kiełkowania, ukorzenia i wzrostu roślin ochronnych, zwykle używanych do ochrony skarp. Wełna owcza znajduje także zastosowanie w ekologicznym budownictwie, a także organicznym rolnictwie [31, 32] i leśnictwie [126]. Badacze [31] wykazali, że wełna owcza odpadowa, która ze względu na słabą jakość nie znajduje zastosowania w przemyśle tekstylnym może być wykorzystana jako składnik kompostu. Kompost z udziałem wełny owczej stanowi cenne źródło dla rolnictwa i ogrodnictwa. Naukowcy wykazali [32], że wełna owcza ze względu na zawartość azotu może być stosowana jako nawóz wielofunkcyjny w uprawie warzyw i hodowli kwiatów w rolnictwie ekologicznym.

Z przeprowadzonego przeze mnie wywiadu z hodowcami owiec w Polsce, którzy mają ogólny problem ze zbyciem wełny wynika, że często podejmują próby zagospodarowania tego surowca we własnym zakresie, wykorzystując wełnę do ściółkowania grządek lub większych fragmentów ziemi. Ściółkowanie wełną ma na celu zabezpieczenie gleby przed utratą wilgoci, zapobieganie rozprzestrzenianiu się chwastów, a także pełni funkcję nawozu organicznego.

3.2 Włókna tykowe

Do roślin włóknistych uprawianych w Polsce należą len *Linum usitatissimum* (Rysunek 8) osiągający wysokość od 30 do 70 cm oraz konopie *Cannabis sativa*, które mogą osiągać nawet do 4 m wysokości (Rysunek 9).

Len i konopie można uprawiać w różnych szerokościach geograficznych na całym świecie, nie mniej jednak umiarkowany wilgotny klimat sprzyja uzyskaniu wysokiej jakości cienkiego, mocnego, włókna o delikatnym chwycie. Liderem produkcji lnu jest Unia Europejska, gdzie produkuje się ok. 122 000 ton włókna lnianego trzpanego rocznie. Po Unii Europejskiej, znaczącym producentem są Chiny z ok. 25 000 ton włókna rocznie. Wg danych Agencji

Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa areał upraw lnu w Polsce w roku 2021 wynosił ok. 4 780 ha natomiast konopi ok. 2 344 ha [33]. Niezwykłą zaletą konopi jest to, że ze względu na silny i szybki wzrost rośliny oraz charakterystyczne gęste o dużej powierzchni liście, plantacja o wielkości 1 ha pochłania ok. 10 ton CO₂ w zależności od odmiany w okresie jednego cyklu wegetacyjnego [34]. W Polsce wydajność upraw roślin tykowych w zakresie produkcji włókna wynosi od 1,5 do 3,5 tony na hektar w zależności od rodzaju i odmiany roślin.

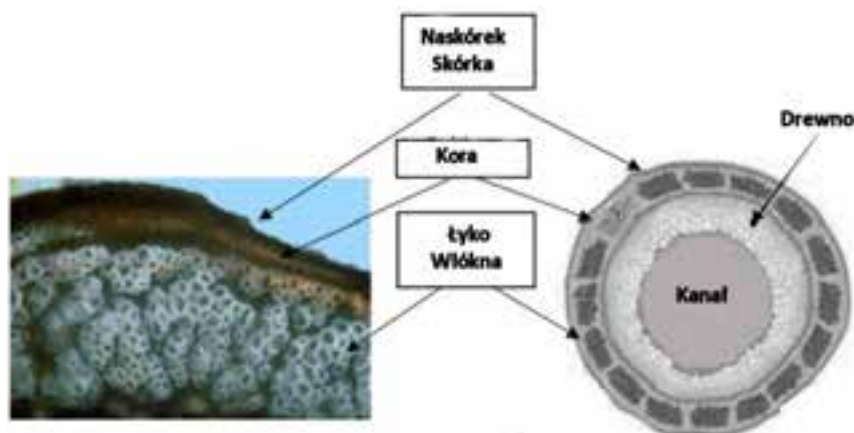


Rysunek 8. Len (*Linum usitatissimum*). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 9. Konopie (*Cannabis sativa*). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Budowę łodygi roślin tykowych omówiono na przykładzie konopi i zaprezentowano na rysunku 10. Zarówno łodyga konopi jak i lnu zbudowana jest z kilku warstw, które w przekroju poprzecznym mają kształt współosiowych pierścieni [35]. Zewnętrzną warstwę tworzy naskórek i skórka *Cuticle*, *Epidermis*, które chronią komórki wewnętrznej części łodygi przed utratą wilgoci, gwałtownymi zmianami temperatury otoczenia oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi. Skórka ma porowatą strukturę zapewniającą roślinie regulację parowania i wentylacji. Kolejną warstwą łodygi jest zawierająca chlorofil kora pierwotna *Cortex*, która przylega do tyka *Phloem* zawierającego wiązki włókna. Włókna są rozmieszczone równoległe do osi łodygi na całej jej długości, wspierają przewodnictwo komórek oraz wytrzymałość mechaniczną rośliny. Lignocelulozowe włókna są połączone siecią pektynowo polisacharydową. Drewno (*Xylem*) jest wewnętrzną warstwą, która stanowi ok. 75% całej masy łodygi. Zawiera miękisz o strukturze gąbki i system naczyń zdolnych do transportowania cieczy. *Xylem* jest odpowiedzialny za rozprowadzanie substancji organicznych powstających w wyniku fotosyntezy jak również wody i składników pokarmowych absorbowanych z gleby przez system korzeniowy do wszystkich części rośliny. Zapewnia także roślinie wytrzymałość mechaniczną. W osi łodygi, na całej jej długości znajduje się kanał (*Lumen*).



Rysunek 10. Budowa łodygi roślin tykowych [36].

Włókna tykowe znajdujące się w *Phloem* zbudowane są z celulozy, hemicelulozy, lignin, pektyn, wosków i tłuszczów. Elementarne włókno tykowe posiada złożoną warstwową strukturę, na którą składają się ściana pierwotna, wtórna, tercjalna oraz centralnie ułożony kanał (Rysunek 11).



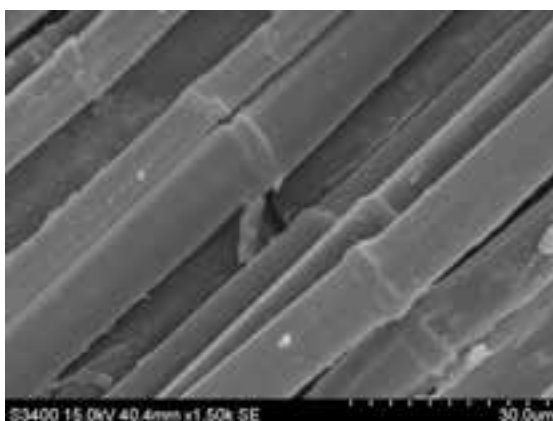
Rysunek 11. Budowa włókna tykowego lnu i konopi [37].

Ściana wtórna składa się z trzech warstw, przy czym warstwa wewnętrzna zbudowana jest z mikrofibril uformowanych z długich łańcuchów celulozy o średnicy ok. 10–30 nm zawierających 30–100 molekuł celulozy. Mikrofibryle mają duży wpływ na właściwości mechaniczne włókna. Amorficzna substancja międzykomórkowa we włóknie zawiera hemicelulozę, ligniny i częściowo pektyny. Molekuły hemicelulozy są związane z celulozą za pomocą grup wodorowych tworząc sieć celuloza-hemiceluloza, która jest głównym elementem strukturalnym włókna. Usieciowana lignina nadaje sztywność strukturze kompozytu celuloza/hemiceluloza i posiada właściwości hydrofobowe w odróżnieniu od silnie hydrofilowej celulozy. Lignina powoduje sztywność włókna, obniża jego zdolność do sorpcji wody oraz ogranicza jego chemiczną, fizyczną i mikrobiologiczną degradację.

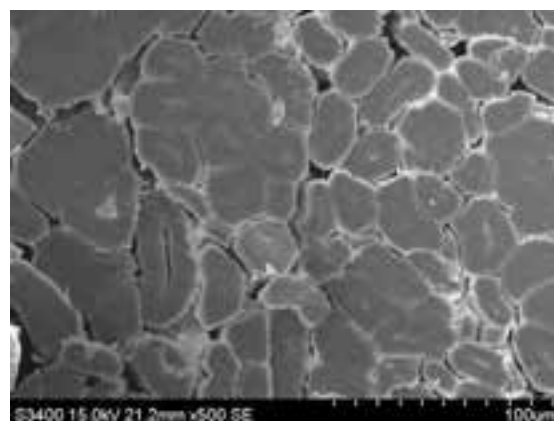
Celuloza jest najbardziej pożądanym składnikiem włókna z punktu widzenia wykorzystania włókna do wytwarzania wyrobów tekstylnych. Skład chemiczny włókna decyduje o ich właściwościach oraz możliwościach aplikacyjnych [37,127].

Rysunki 12–15 prezentują mikrofotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych włókien lnu i konopi, wykonane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego. Włókna

łykowe w widoku wzdłużnym przeważnie przyjmują kształt długich nieregularnych wielościanów, rzadko przyjmują kształt cylindryczny. Posiadają charakterystyczne dla tej grupy włókien „kolanka”. W przekroju poprzecznym włókna łykowe mogą przybierać formę od owalnej, poprzez silnie spłaszczoną i wielokątną, do zupełnie nieregularnej, włókna posiadają widoczny kanał, który przebiega wzdłuż całej długości włókna [38]. Średnica włókna elementarnego lnu wynosi ok. 15–25 μm natomiast włókien konopi ok. 10–17 μm .



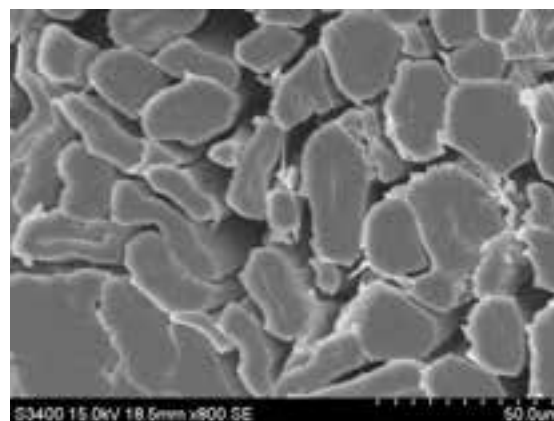
Rysunek 12. Mikrofotografia- widok wzdłużny włókien lnu. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 13. Mikrofotografia – widok przekroju poprzecznego włókien lnu. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 14. Mikrofotografia – widok wzdłużny włókien konopi. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 15. Mikrofotografia – widok przekroju poprzecznego włókien konopi. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

W celu wydobycia włókna z łądygi stosuje się procesy biologiczne, chemiczne, fizyczne lub mechaniczne. Najbardziej popularnym procesem pozyskania włókien jest roszenie z wykorzystaniem metody siania [39]. Proces ten polega na pozostawieniu słomy roślin łykowych na polach przez okres ok. 4–7 tygodni. Na rozścielonych łądygach rozwijają się mikroorganizmy, przede wszystkim grzyby (*Cladosporium herbarum*, *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.* i *Epicoccum nigrum*), których rozrastające się grzybnie swymi strzępkami przenikają do wnętrza łądygi i wydzielają enzymy (fermenty) rozkładające substancje pektynowe. Proces taki jest trudny do kontrolowania, ponieważ zależy od warunków atmosferycznych, tzn. od temperatury

i wilgotności powietrza, ilości opadów, stopnia nasłonecznienia i innych [40–42]. Warunki pogodowe panujące podczas roszenia mają wpływ na aktywność mikroorganizmów przyczyniających się do rozkładu substancji sklejających włókno ze sobą oraz ze zdrewniałymi częściami łądygi, czyli do degradacji pektyn, lignin, hemicelulozy. Ma to decydujący wpływ na efektywność procesu. W zależności od warunków atmosferycznych, efektywność roszenia można regulować poprzez skrócenie lub wydłużenie czasu siania.

Sposobem wydobycia włókna z roślin łykowych z pominięciem procesu roszenia jest zastosowanie procesu mechanicznego tzw. dekortykacji [43, 44]. W czasie procesu dekortykacji, oddzieleniu od włókna ulegają zdrewniałe części łądygi w tym paździerze oraz następuje wstępne podzielenie i częściowe skrócenie włókna. Pozyskane w ten sposób włókno jednopostaciowe charakteryzuje się bardzo niską jakością, jest źle podzielone, posiada wysoką masę liniową i dużą ilość zanieczyszczeń. W związku z tym włókno dekortykowane ma ograniczone możliwości aplikacyjne, wykorzystywane jest jedynie do celów technicznych dla których dobra jakość włókna nie jest wymagana. Ze względu na liczne ograniczenia aplikacyjne, dekortykację stosuje się ze względu na to, że eliminuje wielotygodniowy proces roszenia metodą słańcową i umożliwia znaczne skrócenie technologii wydobycia i przetwarzania włókna. W ostatnich dekadach nastąpił rozwój technologii pozwalających na wykorzystanie bawełniarskiego parku maszynowego do przerobu dekortykowanych włókien łykowych i tym samym otworzyły się nowe możliwości wykorzystania tych włókien [45].

Włókna łykowe są surowcem biodegradowalnym i odnawialnym [46], które są szeroko stosowane w wielu sektorach gospodarki. Przede wszystkim są cennym surowcem stosowanym w przemyśle włókienniczym w wyrobach odzieżowych, elementach wyposażenia wnętrz, artykułach dekoracyjnych, opatrunkowych, a także jako konfekcja stołowa i kuchenna oraz bielizna pościelowa. Wyroby odzieżowe z lnu i konopi wykorzystywane w życiu codziennym przy umiarkowanej aktywności fizycznej użytkownika, zapewniają optymalny komfort użytkowy, tj. charakteryzują się dobrą przewiewnością, wysoką higroskopijnością, chłodnym i przyjemnym chwytem oraz brakiem skłonności do gromadzenia ładunków elektrostatycznych na ich powierzchni, pozytywnie oddziałują na fizjologię człowieka. Włókna łykowe absorbują promieniowanie UV a wyroby z tych włókien stanowią skuteczną barierę ochronną przed promieniami słonecznymi przy założeniu wysokiej gęstości nitek w tkaninie. Zalety te, kwalifikują włókno lniane do tworzenia letnich kolekcji odzieży noszonych w strefach wysokiego nasłonecznienia. Kontakt skóry człowieka z odzieżą z włókien łykowych wpływa korzystnie na aktywność gruczołów łojowych, dzięki czemu odporność skóry na choroby ulega poprawie [47].

Zastosowanie lnu nie ogranicza się tylko do produkcji wyrobów tekstylnych, włókna i paździerze lniane znajdują zastosowanie w sektorach wykorzystujących kompozyty, nasiona lnu stosuje się w przemyśle spożywczym do produkcji olejów, suplementów diety oraz w kosmetyce.

Konopie są rośliną, której każdy element stanowi surowiec do wykorzystania w różnych gałęziach przemysłu. Wiechy czyli kwiatostany konopi są wykorzystywane do pozyskiwania ekstraktów kanabinoidów, w tym kannabidiolu CBD, nasiona do produkcji oleju oraz suplementów diety, włókno na cele włókiennicze i techniczne, paździerze do produkcji biokompozytów i budownictwa ekologicznego, biomasa konopna może być również wykorzystana do celów energetycznych w tym do produkcji bioetanolu II generacji.

Włókna łykowe znajdują także zastosowanie w produkcji mat sanitarnych. Opracowane w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich-PIB (IWNI RZ-PIB) trójwarstwowe maty sanitarne, składające się z włókniny lniano-konopnej, tkaniny jutowej oraz elastycznej naturalnej żywicy, nasączone substancją na bazie 5% roztworu sody kaustycznej, służą do ochrony i zapobiegania rozprzestrzenianiu się chorób zakaźnych zwierząt. Maty mogą być stosowane jako elementy dezynfekujące w systemach bio-asekuracji na przejściach i przejazdach w obrębie kurników, obór, chlewni, mleczarni, wytwórni pasz, rzeźni, zakładów przetwórstwa spożywczego, pasiek, punktów skupu żywca, pieczarkarni, przejść granicznych [48].

3.3 Wykorzystanie wełny owczej i włókien łykowych w wyrobach stosowanych jako izolacja termiczna i akustyczna

Włókna pochodzenia naturalnego w tym wełna owcza oraz len i konopie są materiałami o dużym potencjale aplikacyjnym i mogą być stosowane np. do produkcji wyrobów o właściwościach barierowych oraz pochłaniających fale dźwiękowe. Materiały wytwarzane na bazie włókien naturalnych zyskują na znaczeniu ze względu na ich proekologiczny charakter. Włókna pochodzenia zwierzęcego oraz roślinnego jako odnawialne w pełni biodegradowalne surowce, doskonale spełniają np. wymagania zielonego budownictwa. Wykorzystanie materiałów ekologicznych w budownictwie uważane jest za potencjalną drogę do zminimalizowania wpływu negatywnych skutków na środowisko naturalne [49]. W ostatnim czasie obserwuje się wzrost zainteresowania ekologicznymi materiałami izolacyjnymi, wytwarzanymi z udziałem surowców odnawialnych [50].

Dla materiałów barierowych w zakresie izolacji termicznej wyznacza się tzw. współczynnik przewodzenia ciepła λ wyrażany w $W/(m \cdot K)$. Współczynnik ten określa wielkość przepływu ciepła przez jednostkową powierzchnię z materiału o danej grubości jeśli różnica

temperatur między dwiema jego stronami wynosi 1 K (Kelwin). Zależy on od składu chemicznego zastosowanego materiału, jego porowatości, a także wilgotności. Im mniejsza wartość λ tym lepsze właściwości termoizolacyjne. Standardowo używane izolacje mają współczynnik λ na poziomie 0,036–0,045 W/(m·K). Materiały o $\lambda \leq 0,035$ W/(m·K) uznaje się za materiały o dobrej izolacyjności termicznej. Materiały osiągające wartość współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda=0,014$ W/(m·K) uznaje się materiały o bardzo wysokiej izolacyjności termicznej. Współczynniki przewodzenia ciepła λ dla różnych materiałów termoizolacyjnych zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynnik przewodzenia ciepła λ dla różnych materiałów termoizolacyjnych [51, 52, 60].

Materiał termoizolacyjny	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]
Styropian	0,031–0,045
Wełna mineralna	0,033–0,045
Płyty korkowe ekspandowane	0,045
Płyty korkowe asfaltowane	0,070
Płyty ze słomy	0,080
Płyty z trzciny	0,070
Płyty wiórkowo-cementowe	0,15
Poliuretan (PUR/PIR)	0,023–0,029
Powietrze (nieruchome)	0,02
Szkło piankowe białe	0,12
Szkło piankowe czarne	0,07
Mata z włókien drzewnych	0,038–0,050
Wełna owcza	0,038–0,054
Konopie	0,040
Len	0,040

Wełna owcza dzięki swoim dobrym właściwościom termicznym znajduje zastosowanie w budownictwie jako izolator ciepła [27]. Wyroby na bazie wełny w postaci mat lub luźnej masy pokładu włókien mogą być przeznaczone do izolowania przestrzeni zamkniętych np. izolacji dachów, ścian i stropów. Powszechnie stosowanym materiałem izolacyjnym w ww. konfiguracjach są styropian i wełna mineralna. Jednak materiały izolacyjne na bazie wełny owczej mogą być stosowane jako zamiennik ww. materiałów termoizolacyjnych. Główne wady powszechnie stosowanych materiałów termoizolacyjnych wynikają ze sposobu ich produkcji w czasie którego używa się surowców nieodnawialnych, nie ulegają biodegradacji i są wytwarzane w technologiach mających negatywny wpływ na środowisko naturalne, a także środowisko panujące we wewnątrzach pomieszczeń co związane jest ze zmniejszoną przepuszczalnością pary wodnej [55].

Wełna jest odnawialna, biodegradowalna oraz trudnopalna, ponadto posiada zdolność regulowania wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu. Włókna wełniane charakteryzują się wysoką higroskopijnością, w przeciwieństwie do produktów wytworzonych

na bazie włókna szklanego mogą absorbować i desorbować wilgoć, bez obniżania właściwości termicznych, oznacza to, że właściwości barierowe wełny pozostają na podobnym poziomie w zmiennych warunkach wilgotności powietrza [50].

Ze względu na swój skład chemiczny włókna wełniane mogą wchłonąć więcej niż 35 % wilgoci w stosunku do ich masy bez wrażenia mokrego chwytu, wełna przyczynia się do utrzymania stałej wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu [27].

Andreea Hegyi i in. [55] badali maty z wełny owczej, w których do masy włókien wełny wprowadzono dodatkowo ok. 10–15 % termoplastycznych włókien. Na skutek działania temperatury, w efekcie którego następuje topnienie włókien termoplastycznych, uzyskano dodatkowe trwałe wiązania wełny w włókninie. Maty zostały wykonane techniką zgrzewania termicznego. Opracowane wełniane materiały termoizolacyjne o poprawionych właściwościach mechanicznych mają pozytywny wpływ na zdrowie użytkowników, dzięki dobrej przepuszczalności pary wodnej i zdolności magazynowania/uwalniania wilgoci z otoczenia, co w efekcie umożliwia regulowanie wilgotności powietrza w pomieszczeniu oraz wyeliminowanie ryzyka kondensacji pary wodnej i powstawania pleśni.

Porowata struktura włókien łykowych sprawia, że nadają się one do zastosowań jako izolacja termiczna [56]. Zainteresowanie wykorzystaniem konopi w materiałach budowlanych ściśle powiązane jest z ich właściwościami takimi jak wysoka higroskopijność, dobre właściwości mechaniczne oraz przepuszczalność powietrza w przypadku wyrobów z nich wykonanych. Materiały na bazie włókien łykowych, poprzez zdolność do regulacji wilgotności powietrza w pomieszczeniach w określonym zakresie, przyczyniają się do kreowania przyjaznego dla mieszkańców klimatu. Takie rozwiązania technologiczne są bezpieczne zarówno dla użytkowników, jak i przyjazne dla środowiska. Pennacchio i in. [57] przeprowadzili badania wykorzystania wełny owczej w połączeniu z włóknem konopnym w formie półsztywnych paneli do izolacji termicznej i akustycznej, do produkcji których wykorzystano włókna konopne cięte oraz wełnę słabej jakości nienadająca się do przerobu tekstylnego (włókna grube i o nieregularnej długości). Opracowane panele półsztywne o grubości 45 mm posiadały współczynnik przewodzenia ciepła badany w 25°C na poziomie 0,041 W/(m·K).

Na rynku polskim dostępne są importowane produkty na bazie włókien naturalnych do zastosowań jako izolacja termiczna. Są to maty lub płyty wykonane z wykorzystaniem włókien konopnych bądź wełny owczej. Na rynku polskim brak jest mat mieszankowych z wykorzystaniem naturalnych surowców krajowych. W tabeli 2 zaprezentowano przykłady dostępnych produktów.

Tabela 2. Przykładowe produkty na bazie włókien naturalnych do zastosowań jako izolacja termiczna dostępne na rynku [59].

Producent	Produkt	Skład surowcowy	gęstość kg/m ³	grubość [mm]	współczynnik przewodzenia ciepła λ W/(m·K)	Zastosowanie
Thermo Natur	Mata konopna	100% włókna konopne	160–180	3–10	0,047	podkład podłóg pływających wykonanych z parkietu lub laminatu
Thermo Hanf	Płyta z „wełny konopnej”	83-87% włókna konopnego, 10-12 % włókna poliestrowe BIKO, 3-5% soda jako składnik przeciwpożarowy	30–42	3	0,047	podkład podłóg pływających wykonanych z parkietu lub laminatu
Isolena	Mata z wełny owczej Block SD BLO 14	100% wełna owcza	14	50	0,040	strop belkowy, podłoga, sufit, między bale drewniane
Isolena	Wełna owcza luzem SD LW	100% wełna owcza	14–18	-	0,040	dach, szczeliny przy drzwiach, montaż okien, świetlików, podłogi, spoiny między belkami i ścianami
Isolena	Mata z wełny owczej Optimal SD OPI 18	100% wełna owcza	18	30–140	0,038	izolacja dachów skośnych i ścian, izolacja konstrukcji podłóg oraz stropów
Isolena	Mata z wełny owczej Klemmfilz SD KF 30	100% wełna owcza	30	30	0,035	dach, ściana, sufit, fasada, konstrukcje szkieletowe, sufit akustyczny, podłoga, strop
Isolena	Mata z wełny owczej Optimal SD OPI 18	100% wełna owcza	18	30–160	0,038	dach, ściany, sufit, fasada, sufit akustyczny, konstrukcje szkieletowe, domy z bali
Isolena	Mata z wełny owczej Premium SD PRE 20	100% wełna owcza	20	120	0,0385	dach, ściany, sufit, fasada, podłoga, konstrukcje szkieletowe

W branży budowlanej coraz więcej uwagi poświęca się materiałom barierowym dla fal akustycznych [53]. Akustyka budowlana ma na celu kontrolowanie rozchodzenia się dźwięku poprzez przegrody budowlane – ściany działowe, stropy, fasady, okna, natomiast akustyka pomieszczenia kontroluje rozchodzenie się dźwięku w zamkniętej przestrzeni pomieszczeń. Tłumienie dźwięków w pomieszczeniach uzyskuje się poprzez stosowanie wyrobów charakteryzujących się wysoką zdolnością pochłaniania dźwięków oraz dobrą izolacyjnością akustyczną. Z pochłanianiem dźwięków mamy do czynienia w sytuacji, gdy w większości energia fali dźwiękowej zostaje zaabsorbowana przez materiał izolacyjny, część zostaje przeniesiona, a pozostała część ulega odbiciu od powierzchni. Pochłanianie dźwięków jest ważne z punktu widzenia odbioru dźwięku przez osoby przebywające w pomieszczeniu [120].

Ze względu na pasmo częstotliwości, w którym występuje największe pochłanianie dźwięku, wszystkie materiały, wyroby i ustroje dźwiękochłonne można podzielić na niskoczęstotliwościowe (65–500 Hz), średniczęstotliwościowe (500–2500 Hz) i wysokoczęstotliwościowe (2–8 kHz).

Zdolność materiału do pochłaniania dźwięku jest zazwyczaj przedstawiana za pomocą pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku α w funkcji częstotliwości. Każdy materiał charakteryzują współczynniki pochłaniania zróżnicowane pod kątem wartości w zależności od badanej częstotliwości dźwięku. Współczynnik α przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1,00. Wartość na poziomie 0 oznacza brak pochłaniania dźwięku (wszystkie fale dźwiękowe ulegają odbiciu) a na poziomie 1,00 — całkowite jego pochłanianie. Materiały budowlane powinny charakteryzować się współczynnikiem pochłaniania dźwięku na poziomie zapewniającym kontrolę natężenia dźwięku w taki sposób, aby zapobiegać występowaniu niepożądanych efektów, minimalizować poczucie dezorientacji, a także zapewniać zrozumiałość mowy. Jakość pochłaniania dźwięków jest determinowana przez układ wnętrza pomieszczenia oraz materiały i przedmioty użyte do jego wykończenia [120]. W tabeli 3 zaprezentowano wartości współczynnika pochłaniania dźwięku α dla przykładowych materiałów stosowanych we wnętrzach.

Tabela 3. Współczynnik pochłaniania dźwięku α dla różnych wyrobów stosowanych we wnętrzach [58, 61].

Materiał	Współczynnik pochłaniania dźwięku α dla różnych częstotliwości [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Fiłc miękki d=5mm	0,09	0,12	0,18	0,35	0,55	0,70
Fiłc zwykły d=25 mm	0,18	0,36	0,41	0,49	0,52	0,55
Termofilc d=4 cm	0,25	0,37	0,66	0,75	0,85	0,74
Wata szklana luźna d=4cm	0,33	0,30	0,50	0,65	0,79	0,80
Wełna mineralna d=3 cm	0,21	0,31	0,58	0,73	0,80	0,89
Wełna mineralna d=5 cm	0,25	0,40	0,65	0,89	0,88	1,00
Płyta pilśniowa porowata d=12,5 mm, montowana na twardym podłożu, niemalowana	0,15	0,21	0,29	0,38	0,48	0,38
Wykładzina dywanowa d=6 mm na podkładzie piankowym	0,03	0,09	0,25	0,31	0,33	0,44
Zasłona < 0,2 kg/m ² ; w odległości do 200 mm przed twardą powierzchnią, typowe minimum	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
Dźwiękochłonne panele ściennie z wełny szklanej, d=40 mm, montowane bezpośrednio na ścianie	0,20	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00
Dźwiękochłonny sufit podwieszany wypełniony płytami z wełny szklanej grubości 40 mm montowany 200 mm pod stropem.	0,60	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00

Do scharakteryzowania barierowości akustycznej wyrobu stosuje się również współczynnik redukcji hałasu NRC (Noise Reduction Coefficient). Jest to uśredniony współczynnik pochłaniania dźwięku dla 250, 500, 1000 i 2000 Hz. Współczynnik NRC dotyczy pochłaniania dźwięków wewnątrz pomieszczenia, przy czym, im wyższa wartość współczynnika NRC, tym większa dźwiękochłonność materiałów barierowych. W tabeli 4 zaprezentowano wartości współczynnika NRC dla różnych materiałów stosowanych w budownictwie oraz we wnętrzach pomieszczeń.

Tabela 4. Współczynnik NRC dla różnych materiałów stosowanych w budownictwie oraz we wnętrzach pomieszczeń [119].

Materiał	NRC (Noise Reduction Coefficient)
Cegła	0,00–0,05
Płyty betonowe	0,35–0,50
Beton gładki	0,20
Dywan na ścianie	0,20–0,30
Korek ścienny – 2.5 cm	0,30–0,70
Tkanina naścienna średniej gęstości	0,05–0,15
Wełna skalna o wysokiej gęstości – 9 cm	0,90–0,95
Wełna mineralna – 5 cm	0,50–0,75
Płyta kartonowo-gipsowa	0,05–0,10
Szkło	0,10
Drewno	0,15
Profesjonalny panel akustyczny	0,75–1,0

Duża część produktów stosowanych jako izolacje akustyczne jest wykonana z materiałów syntetycznych lub sztucznych. Najczęściej używana jest wełna mineralna, wełna

szklana, pianki poliuretanowe (PUR), poliester. W ostatnich latach naturalne surowce stają się ważną alternatywą dla powszechnie stosowanych materiałów izolacyjnych ze względu na obniżone koszty produkcji i ochronę środowiska. Wyniki prowadzonych prac wykazują, że wełna owcza jest dobrym materiałem dźwiękochłonnym w zakresie średnich i wysokich częstotliwości, a jej wartości pochłaniania dźwięku są porównywalne z wełną mineralną oraz piankami poliuretanowymi [130]. Wełna owcza posiada dobre właściwości akustyczne i może być stosowana jako zamiennik ww. materiałów [62].

Jedną z grup produktów oferowanych na rynku w zakresie izolacji akustycznej są różnego rodzaju maty bądź panele przeznaczone do izolacji dachów, ścian lub stropów. Wyroby takie przeznacza się głównie do izolowania przestrzeni zamkniętych.

Drugą grupą są wyroby służące do tłumienia hałasu wewnątrz pomieszczeń typu domy, biura, obiekty użyteczności publicznej. Do wyrobów takich należą dywany, chodniki, kotary, filce i różnego rodzaju włókniny. Wyroby tego typu dobrze pochłaniają dźwięk w paśmie średnich i dużych częstotliwości, natomiast słabo w zakresie niskich częstotliwości.

Innym rodzajem materiałów izolujących akustycznie są ekrany/przegrody oraz panele ściennie/sufitowe. Ekrany i przegrody często wykorzystywane są w biurach, aby poprawić akustykę miejsca pracy oraz stworzyć dogodne warunki pracy dla ludzi funkcjonujących w otwartych aranżacjach biurowych. Panele wygłuszające umieszczane na ścianach i sufitach pełnią jednocześnie formę dekoracji poprawiając zarówno komfort akustyczny, jak i walory estetyczne przestrzeni.

Materiały izolacyjne z wełny zapewniają dobrą izolację akustyczną i są coraz częściej i chętniej stosowane do wygłuszania pomieszczeń. Zazwyczaj materiały te przyjmują formę włóknin, których zarówno struktura jak i parametry wpływają na parametry barierowości akustycznej [63]. Włókniny posiadają strukturę porowatą z licznymi szczelinami. Materiały porowate zwykle pochłaniają najwięcej dźwięku ze względu na otwarte kanały porów, przez które mogą przedostawać się fale dźwiękowe.

Porowate materiały włókniste pochłaniają przede wszystkim dźwięki o średniej lub wysokiej częstotliwości [62].

Właściwości akustyczne mat włókninowych zależą od wielu czynników, należą do nich rodzaj i struktura włókien, parametry wytworzonych włóknin np. grubość, gęstość czy przepuszczalność powietrza. Wykazano, że wartość współczynnika pochłaniania dźwięku wzrasta wraz ze wzrostem grubości materiału, jednak przy wysokich częstotliwościach grubość warstw włókniny ma niewielki wpływ na pochłanianie dźwięku poprzez strukturę wielowarstwową [64].

Kobiela-Mendrek i in. [129] wykazali, że gruba wełna pochodząca od lokalnych owiec górskich barwnych, często traktowana jako odpad i produkt uboczny hodowli owiec, może być

wykorzystana do produkcji materiałów dźwiękochłonnych w postaci filców lub tkanin. Właściwości akustyczne produkowanych materiałów zależą od ich struktury i parametrów. Pochłanianie dźwięku przez filc utworzony z losowo zorientowanych, splątanych i fizycznie powiązanych włókien, zależy głównie od gęstości upakowania włókien i grubości filcu. Wyniki badań [129] wykazały, że filc o grubości 9,9 mm charakteryzował się współczynnikiem NRC o wartości 0,31 natomiast dla filcu o grubości 1,9 mm NRC wynosił 0,4. Wyższy poziom pochłaniania dźwięku można osiągnąć poprzez zwiększenie grubości filcu. Opracowane przez zespół naukowców materiały na bazie wełny owiec górskich mogą być stosowane do kontroli pogłosu i poprawy komfortu akustycznego w pomieszczeniach a ponadto oprócz funkcji izolacyjnych, materiały takie mogą także pełnić funkcje dekoracyjne.

4. Część doświadczalna

4.1 Materiał badawczy

Badania przeprowadzono dla odpadowych krajowych włókien naturalnych, które ze względu na swoje właściwości mogą stanowić cenny surowiec dla wytwarzania materiałów barierowych w zakresie przenikania ciepła i rozprzestrzeniania się dźwięków.

Materiał badawczy stanowiły:

- wełna owcza pochodząca od różnych ras owiec hodowanych w Polsce na terenach górskich i podgórskich,
- odpadowe włókna lniane i konopne powstałe podczas zgrzeblenia wstępnego i właściwego w trakcie produkcji sznurków lnianych lub konopnych,
- maty wytworzone z włókien łykowych w mieszankach z wełną owczą.

Wełna owcza pochodziła od 14 różnych ras owiec hodowanych w Polsce na terenach górskich i podgórskich. Wełnę pozyskano dzięki współpracy Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich-Państwowego Instytutu Badawczego (IWNI RZ-PIB) z:

- ✓ Polskim Związkiem Owczarskim,
- ✓ Regionalnym Związkiem Hodowców Owiec i Kóz w Nowym Targu,
- ✓ Regionalnym Związkiem Hodowców Owiec i Kóz w Lublinie,
- ✓ Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi,
- ✓ Prywatnymi hodowcami owiec (gospodarstwa rolne).

Mieszanka włókien łykowych odpadowych stanowiąca 75% włókna konopi oraz 25% włókna lnu pochodziła z Zakładu Doświadczalnego IWNI RZ-PIB Lenkon w Stęszewie.

Maty wykonane z mieszanki włókien łykowych, mieszanki włókien łykowych z dodatkiem wełny oraz samej wełny wyprodukowano w Zakładzie Doświadczalnym IWNI RZ-PIB Lenkon w Stęszewie.

4.1.1 Przygotowanie włókna lnu i konopi do wytwarzania mat w mieszance z wełną

4.1.1.1 Powstawanie odpadów produkcyjnych podczas wytwarzania sznurków

Słoma lniana i konopna z której wydobyto włókna wykorzystane do produkcji sznurków, pochodziła z uprawy z roku 2021 z plantacji lnu odmiany Modran i konopi odmiany Białobrzeskie w Zakładzie Doświadczalnym IWNiRZ-PIB Lenkon w Stęszewie. Na rysunku 16 zaprezentowano blokowy schemat wytwarzania sznurków lnianych lub konopnych ze wskazaniem, na którym etapie powstają odpady lniane bądź konopne wykorzystane do produkcji mat.



Rysunek 16. Schemat procesu wytwarzania sznurków lnianych lub konopnych. Źródło: Prace własne.

Zebrana z pola surowa, nieroszona słoma lniana lub konopna została poddana procesowi dekortykacji, który na rysunku 16 jest oznaczony jako Etap I. Celem procesu dekortykacji jest wydobycie włókna z łodyg roślin tykowych za pomocą procesów mechanicznych. W czasie procesu dekortykacji następuje miażdżenie łodyg w wyniku czego następuje oddzielenie włókna od zdrewniałych części rośliny. Usuwane są paździerze oraz następuje proces skrócenia i wstępnego podzielenia włókien tykowych na mniejsze kompleksy. W wyniku wydobycia włókna w procesie dekortykacji nie ma możliwości pozyskania włókna długiego, otrzymuje się tzw. włókno jednopostaciowe o dużym rozrzucie długości. Drugi etap technologiczny stanowi cykl procesów zgrzeblenia włókna dekontytkowanego, tj. zgrzeblenie wstępne a następnie zgrzeblenie właściwe (Etap II). W procesie zgrzeblenia splątana masa włókien zostaje wstępnie oczyszczona, wymieszana i rozluźniona. Następuje wstępne uporządkowanie ułożenia włókien i uformowanie ciągłej, taśmy włókien. Na etapie zgrzeblenia powstają odpady lniane lub konopne, które stanowią surowiec wykorzystany na potrzeby niniejszej pracy doktorskiej. Odpady zgrzeblarkowe stanowią włókna o różnej długości, przy czym zazwyczaj są to włókna krótkie – poniżej 8 cm, nieprzędliwe posiadające dużą zawartość zanieczyszczeń. Uformowana taśma zgrzeblarkowa włókien przechodzi przez zespół rozciągarek (Etap III), po czym w końcowym etapie trafia na przędzarkę, gdzie następuje wytwarzanie sznurka (Etap IV).

4.1.1.2 Przygotowanie mieszanki włókna lnu i konopi do wytwarzania mat

Odpady lniane oraz konopne powstające podczas procesu wytwarzania sznurków wykorzystano do tworzenia mat. Przed przystąpieniem do produkcji mat niezbędnym było

odpowiednie przygotowanie włókien tykowych do łączenia ich z wełną. Odpadowe włókna tykowe poddano procesowi doczyszczania, skracania oraz wymieszania. Proces ten był prowadzony przy użyciu urządzenia czyszcząco-zgrzeblącego produkcji czeskiej o symbolu RCz 120-3. Odpady mieszkankowe o zawartości 75% konopi oraz 25% lnu stanowiły surowiec zasilający maszynę. Urządzenie RCz 120-3 zbudowane jest z zespołu bębnow i wałków roboczych z obiciami piłowymi i igłowymi, zróżnicowanymi pod względem gęstości uiglenia w kolejnych sekcjach roboczych. Włókna przechodząc między agresywnie działającymi elementami roboczymi urządzenia są rozrywane i dzielone, strumień włókna zostaje oczyszczony i wymieszany [65]. W wyniku procesu przerobu włókna odpadowego na urządzeniu RCz 120-3 otrzymano mieszankę włókien tykowych zawierającą 75% konopi oraz 25% lnu (Rysunek 17).



Rysunek 17. Mieszanka włókien lnianych i konopnych powstała w wyniku przerobu odpadów lnianych i konopnych na urządzeniu czyszcząco-zgrzeblącym typu RCz 120-3. Źródło: Prace własne.

4.1.1.3 Przygotowanie wełny do wytwarzania mat

Wełna wykorzystana do produkcji mat pochodziła od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego. Surowiec wełniany do produkcji mat został wytypowany na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych na wełnie pochodzącej od 14 różnych ras owiec z terenów Polski południowej. Otrzymane podobne długości włókien wełnianych oraz długości odpadowej mieszanki lniano-konopnej, pozwoliły na podjęcie prób łączenia tych włókien w procesie produkcyjnym w trakcie wytwarzania mat. Ponadto wytypowanie konkretnego typu wełny było związane z dostępnością surowca w ilości pozwalającej na przerób w skali przemysłowej. Wełnę po strzyżycy poddano praniu w skali przemysłowej w firmie Poltops w Żaganiu. Celem prania było usunięcie tłuszczopotu oraz zanieczyszczeń roślinnych i mineralnych. Proces prania obejmował wstępne rozluźnienie surowca, mechaniczne trzepanie oraz pranie wełny w ciągu pralniczym składającym się z sześciu wanien napełnionych wodą z dodatkiem środków piorących

i płuczących. Do prania wełny zastosowano środek piorący SANVIROL W22 w stężeniu 2-3g/l oraz WĘGLAN SODU LEKKI PH 8-9 T,J. 1,3g/l. Po suszeniu natryskowo zastosowano środek antyelektrostatyczny DEFILAN UN rozpuszczony w wodzie w stosunku 1:10. W wyniku przeprowadzonego procesu prania otrzymano czystą wełnę gotową do dalszego przerobu.

Do badań analitycznych, pranie prowadzono w skali laboratoryjnej zgodnie z PN-P-04930/01. Proces prania obejmował dwa etapy. W etapie pierwszym użyto 2 g/L niejonowego detergentu, w drugim 1,5 g/L. Temperatura kąpieli w obu etapach wynosiła 52°C, czas prania wynosił ok. 3 minuty. Próbki płukano dwukrotnie w ciepłej wodzie i następnie suszono w temperaturze ok. 60°C.

4.2 Wytwarzanie mat

W celu umożliwienia przeprowadzenia analizy wpływu udziału wełny i włókien tykowych na właściwości barierowe mat w zakresie izolacyjności cieplnej i pochłaniania dźwięku, zaplanowano wytworzenie mat o zróżnicowanych składach surowcowych.

Proces produkcji obejmował wytworzenie mat w 5 wariantach surowcowych:

- 100% włókna tykowe – (100% Ł),
- 25% wełna owcza/75% włókna tykowe – (25%W/75%Ł),
- 50% wełna owcza/50% włókna tykowe – (50%W/50%Ł),
- 75% wełna owcza/25% włókna tykowe – (75%W/25%Ł),
- 100% wełna owcza – (100% W).

Na rysunku 18 zaprezentowano surowce użyte do wytworzenia mat. Ze względów technologicznych koniecznym jest wykorzystanie siatki jutowej wzmacniającej strukturę włókniny we wszystkich wariantach surowcowych.



Rysunek 18. Surowce użyte do wytworzenia mat. Źródło: Prace własne.

Wszystkie maty wytworzono stosując taki sam ciąg technologiczny obejmujący zgrzeblarki, części formujące runo oraz igłowarkę JM-1800M, zmodyfikowaną przez IWNiRZ-PIB i przystosowaną do pracy z włóknem lnianym i konopnym. Proces formowania mat

zaprezentowano na rysunku 19. Dla wszystkich wariantów surowcowych zastosowano takie same parametry procesu formowania mat: liczba warstw – 18, prędkość przesuwu pokładu runa – 0,8-1,0 m/min, gęstość igłowania – 50/cm² jak również użyto taką samą siatkę jutową w celu wzmocnienia struktury wyrobu.

Określone masy przygotowanych włókien łykowych i wełny w proporcjach zgodnych z założonymi składami surowcowymi mat, odważono za pomocą urządzenia wagowego wykorzystywanego w Zakładzie Lenkon. Do produkcji mat jednoskładnikowych użyto po 40 kg danego surowca. Do produkcji mat mieszkankowych użyto:

- 10 kg wełny i 30 kg włókien łykowych (mata o składzie 25% wełna/75% włókna łykowe),
- 20 kg wełny i 20 kg włókien łykowych (mata o składzie 50% wełna/50% włókna łykowe),
- 30 kg wełny i 10 kg włókien łykowych (mata o składzie 75% wełna/25% włókna łykowe).

Urządzenie do formowania mat zasilano ręcznie (I). Na etapie zgrzeblenia następuje rozluźnienie i wymieszanie włókien. W kolejnym etapie (II) następuje formowanie cienkiego pokładu runa. W dalszym etapie runo jest układane warstwowo i transportowane na siatce/tkaninie jutowej (etap III) na kolejne elementy urządzenia. W etapie IV warstwy runa zostały poddane igłowaniu. Końcowy etap produkcji mat obejmował zwijanie wytworzonej maty na wałek (etap V).

<p>I. Zasilanie maszyny.</p>	
<p>II. Formowanie cienkiego pokładu runa oraz transport runa na kolejne elementy maszyny.</p>	

III. Nakładanie cienkich warstw runa do uzyskania 18 warstw oraz transport pokładu runa na tkaninie jutowej do dalszych etapów przerobu.



IV. Proces igłowania warstw pokładu runa.

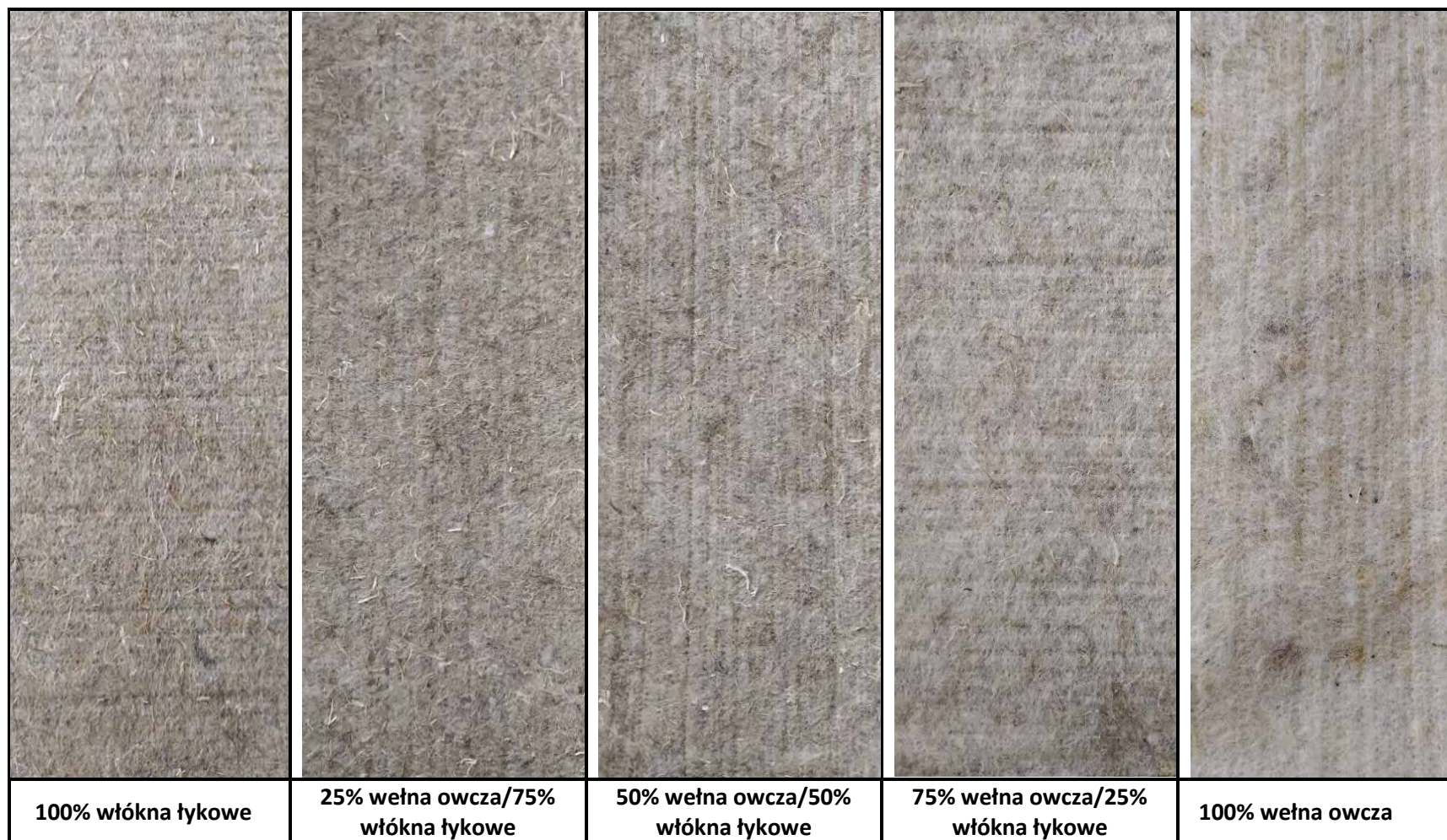


V. Zwijanie wytworzonej maty.



Rysunek 19. Proces produkcji mat. Źródło: Prace własne.

Wytworzone maty zaprezentowano na rysunku 20.



Rysunek 20. Fotografie wytworzonych mat. Źródło: Prace własne.

4.3 Metodyka badań surowców oraz wytworzonych z nich materiałów izolacyjnych

4.3.1 Ocena włókien wełnianych

W czasie badań dla włókien wełnianych wyznaczono/przeprowadzono:

- badania morfologii powierzchni i przekrojów poprzecznych,
- średnicę,
- długość,
- higroskopijność w 65% i 100% wilgotności względnej powietrza,
- zawartość zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego,
- zawartość substancji tłuszczowych w wełnie potnej,
- kolor.

4.3.1.1 Badania morfologii powierzchni i przekrojów poprzecznych włókien

Analizę widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych włókien wełny przeprowadzono z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego ze zmienną próżnią Hitachi S-3400N. Badania wykonano w trybie wysokiej próżni SE z wykorzystaniem detektora elektronów wtórnych dla próbek napylnych warstwą złota za pomocą napyłarki próżniowej Sputter Coater 108 auto. Obserwacje widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych prowadzono przy powiększeniu 250x, wysokości stolika 25 mm i przy napięciu przyspieszającym 15 kV. W czasie badań analizowano morfologię powierzchni i przekrojów poprzecznych włókien. Dodatkowo przeprowadzono pomiary odległości pomiędzy krawędziami łusek przy pomocy oprogramowania SEM Data Manager sprzężonego z elektronowym mikroskopem skaningowym oraz pomiary pól przekrojów poprzecznych włókien i rdzeni przy pomocy oprogramowania NIS-Elements sprzężonego z mikroskopem optycznym. Wykonano po 300 pomiarów dla każdej próby.

Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.2 Ocena średnicy włókien

Średnicę włókien wyznaczono zgodnie z normą IWTO-12 z wykorzystaniem aparatu Laserscan (SIROLAN) [66]. Wyprane i wysuszone próbki pocięto przy pomocy gilotyny na odcinki o długości ok. 1,8–2 mm a następnie umieszczono w wodnym roztworze izopropanolu-2. Wyniki pomiarów średnicy włókien rejestrowane przez detektor pomiarowy przeliczono na podstawie tabeli kalibracyjnej zawartej w oprogramowaniu. Pomiar przeprowadzono dla 2000 odcinków włókien. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono średnią średnicę włókien (MFD – Mean Fibre Diameter).

W przypadku badania średnicy włókien dla prób pochodzących od ras owiec o wełnie mieszanej (M), próby podzielono na frakcje, oddzielono od siebie włókna tworzące okrywę zewnętrzną i wewnętrzną i wprowadzono oznaczenia A – włókna tworzące okrywę zewnętrzną, B – włókna tworzące okrywę wewnętrzną.

Średnice włókien zgodnie z IWTO–12 wyznaczono dla prób pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) oraz dla okrywy wewnętrznej (B) pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M).

W przypadku wełny pochodzącej z okrywy zewnętrznej (A) od ras owiec o runie mieszanym (M) wyznaczono średnicę zastępczą (EqDiameter) w oparciu o pomiary zarejestrowane przy pomocy oprogramowania NIS Elements sprzężonego z mikroskopem optycznym. Średnicę zastępczą (EqDiameter) wyznaczona na podstawie wzoru (1).

$$EqDia = \sqrt{4 \cdot Area / \pi} \quad (1)$$

Pomiary średnicy zastępczej (EqDiameter) przeprowadzono dla 300 włókien.

Badania średnicy włókien przy pomocy aparatu Laserscan (SIROLAN) wykonano w laboratorium wewnętrznym firmy East West Spinning w Łodzi. Badania średnicy zastępczej wykonano w Laboratorium IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.3 Ocena długości włókien

Badania wykonano dla wełny pranej i wysuszonej. Pomiar prowadzono zgodnie z normą PN-ISO 6989:2000 [67]. Na podstawie pomiarów 500 pojedynczych włókien wyznaczono długość średnią. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.4 Ocena higroskopijności w 65% i 100% wilgotności względnej powietrza

Badanie higroskopijności przeprowadzono dla wełny potnej oraz pranej zgodnie z normą PN-P-04635:1980 [68]. Higroskopijność wyznaczono na podstawie wzoru (2).

$$H = \frac{m_m - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (2)$$

m_m – masa próbki przetrzymywanej w powietrzu o wilgotności 65% lub 100%, g,

m_s – masa próbki suchej, g.

Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.5 Wyznaczenie zawartości zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego

Badania wykonano dla wełny potnej zgodnie z normą PN-P-04930/10:90 [69]. Próbki wełny rozpuszczono w 10% roztworze NaOH. Na podstawie pozostałości, które nie uległy rozpuszczeniu wyznaczono zawartość zanieczyszczeń w wełnie. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.6 Oznaczanie zawartości substancji tłuszczowych w wełnie potnej

Badania wykonano dla wełny potnej zgodnie z normą PN-72/P-04900 [70]. Zawartość procentową tłuszczów w wełnie potnej wyznaczono poprzez wyekstrahowanie tłuszczów rozpuszczalnikiem organicznym dichlorometanem w aparacie Soxhleta i zważeniu pozostałości po odparowaniu rozpuszczalnika. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.1.7 Ocena koloru wełny

Badania przeprowadzono na próbkach pranych. Kolor mierzono na zespołach włosowych wykorzystując kolorymetr Konica Minolta cr-400 i standaryzowaną przestrzeń barw CIELab. Barwę określono ilościowo z podaniem wartości liczbowej. W badaniach wykorzystano przestrzeń barw $L^* a^* b^*$. L^* jest współrzędną kolorymetryczną jasności, która wskazuje na

jasność lub punkt przejrzystości w którym znajdują się wszystkie odcienie. Dla czystej czerni $L^*=0$, natomiast dla idealnej bieli $L^*=100$. a^* , b^* to współrzędne chromatyczności, których zakres mieści się od -60 do +60. Współrzędne kolorymetryczne a^* b^* dostarczają informacji na temat odcienia i nasycenia zgodnie z kołem barw zaprezentowanym na rysunku 62 na stronie 90, gdzie wartość ujemna a^* oznacza nasycenie kolorem zielonym, natomiast wartość dodatnia a^* nasycenie kolorem czerwonym. Wartość ujemna b^* oznacza nasycenie kolorem niebieski, natomiast wartość dodatnia b^* nasycenie kolorem żółtym. Środek koła barw jest achromatyczny, wraz ze zwiększaniem wartości a^* i b^* , punkt barwy oddala się od środka układu i zwiększa się nasycenie.

Badania wykonano na Wydziale Hodowli Bioinżynierii i Ochrony Zwierząt, SGGW w Warszawie.

4.3.2 Ocena włókien tykowych

Badania dotyczące oceny włókien tykowych wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

W czasie badań dla włókien tykowych wyznaczono:

- długość,
- masę liniową,
- zawartość zanieczyszczeń,
- wytrzymałość,
- higroskopijność w 65% i 100% wilgotności względnej powietrza.

4.3.2.1 Długość włókien

Badania średniej długości wagowej wyznaczanej metodą segregacji włókien na klasy, wykonano dla włókien lnianych i konopnych oraz dla mieszanki tych włókien otrzymanej podczas przerobu na urządzeniu RCz 120-3. Badania wykonano zgodnie z normą BN-7511-16:1986 [71]. Waga próbki dla każdego wariantu wynosiła 1,5 g.

4.3.2.2 Masa liniowa włókien

Badania masy liniowej włókien wykonano dla włókien lnianych i konopnych metodą grawimetryczną zgodnie z normą PN-EN ISO 1973:2011 [72]. Badaniu poddano dziesięć jednocentymetrowych pęczków włókien przy czym każdy z pęczków zawierał 100 włókien.

4.3.2.3 Zawartość zanieczyszczeń

Badania zawartości zanieczyszczeń przeprowadzono dla włókien lnianych i konopnych oraz dla mieszanki tych włókien otrzymanej podczas przerobu na urządzeniu RCz 120-3. Badania wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 5 maja 2011 r. w sprawie metody oznaczania procentowej zawartości zanieczyszczeń krótkiego włókna lnianego lub włókna konopnego [73]. Waga próbki wynosiła 1,5 g.

4.3.2.4 Wytrzymałość włókna

Badanie wytrzymałości włókien w pęczkach przeprowadzono dla włókien lnianych i konopnych zgodnie z normą PN-P-04676:1986 [74]. Badanie wykonano z wykorzystaniem zrywarki STATIMAT ME. Oprócz siły zrywającej i wydłużenia, wyznaczono wytrzymałość właściwą włókien, która jest ilorazem siły zerwania w pęczku przez jego masę liniową.

4.3.2.5 Ocena higroskopijności w 65% i 100% wilgotności względnej powietrza

Badanie higroskopijności przeprowadzono dla włókien lnianych i konopnych zgodnie z normą PN-P-04635:1980 [68]. Informacje dotyczące wyznaczenia higroskopijności umieszczono w punkcie 4.3.1.

4.3.3 Ocena wytworzonych mat

W czasie badań mat wyznaczono/przeprowadzono:

- grubość,
- masę powierzchniową,
- przepuszczalność powietrza,
- wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie,
- opór cieplny R_{ct} ,
- współczynnik przewodzenia ciepła λ ,
- współczynnik pochłaniania dźwięku α i współczynnik redukcji hałasu NRC,
- badanie reakcji na ogień,

- badanie termostabilności i analizę związków wydzielonych podczas termicznego rozpadu w warunkach pirolizy.

4.3.3.1 Grubość

Badania wykonano przy użyciu grubościomierza elektronicznego J-40-V przy obciążeniu 0,5 kPa. Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 9073-2:1994 [75]. Badania wykonano w Laboratorium „Lab-TEX” Instytutu Materiałoznawstwa Tekstyliów i Kompozytów Polimerowych Politechniki Łódzkiej.

4.3.3.2 Masa powierzchniowa

Badania wykonano przy użyciu wagi elektronicznej Mettler PM 480. Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 29073-1:1994 [76]. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.3.3 Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie

Badania wykonano przy pomocy zrywarki Instron model 5944. Pomiary w kierunku wzdłużnym i poprzecznym prowadzono zgodnie z normą PN-EN 29073-3:1994 [77]. Badania wykonano w Laboratorium „Lab-TEX” Instytutu Materiałoznawstwa Tekstyliów i Kompozytów Polimerowych Politechniki Łódzkiej.

4.3.3.4 Przepuszczalność powietrza

Badania wykonano przy pomocy aparatu Air Permeability Tester III FX 3300, przy ciśnieniu 200 kPa. Pomiary prowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 9237:1998 [78]. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.3.5 Opór cieplny – R_{ct}

Badania wykonano przy pomocy pocącej się, zaizolowanej cieplnie płyty SGHP-8.2 wraz z komorą środowiskową CEO 910-4. Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 11092:2014-11 [79]. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

4.3.3.6 Współczynnik przewodzenia ciepła – λ

Badania wykonano przy pomocy aparatu LaserComp FOX314 zgodnie z normą PN-EN 12667:2002 [80]. Badania wykonano z zastosowaniem ustalonego stałego przepływu strumienia cieplnego przechodzącego przez badaną próbkę. Zakres zastosowanych temperatur wynosił od -20°C do $+ 55^{\circ}\text{C}$ z różnicą temperatur 25°C . Badania wykonano w Międzyinstytutowym Laboratorium Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej.

4.3.3.7 Współczynnik pochłaniania dźwięku – α

Badania wykonano metodą fali stojącej z wykorzystaniem rury impedancyjnej firmy Brüel & Kjaer. Podczas pomiarów wewnątrz rury wygenerowano jednowymiarowe pole akustyczne. Współczynnik pochłaniania dźwięku obliczono na podstawie stosunku maksymalnego i minimalnego ciśnienia akustycznego fali stojącej. Pomiary przeprowadzono dla próbek okrągłych o średnicy 100 mm w odstępach oktawowych w zakresie częstotliwości 250–3150 Hz. Współczynnik redukcji hałasu (NRC) wyznaczono jako średnią wartość współczynników pochłaniania dźwięku przy częstotliwościach 250, 500, 1000 i 2000 Hz. Badania wykonano w Laboratorium Fizyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

4.3.3.8 Badanie reakcji na ogień

Badania wykonano w komorze z ustalonym przepływem powietrza, zgodnie z normą PN-EN ISO 11925-2:2020-09 [81]. Próbki zorientowane w kierunku wzdłużnym i poprzecznym poddano działaniu pojedynczego płomienia w czasie 30 sekund. Próbkę w pozycji pionowej poddano działaniu znormalizowanego źródła zapłonu. W badaniu oceniono wystąpienie zapalenia, zasięg płomienia, wystąpienie płonących odpadających kropeł. Badania wykonano w Laboratorium Palności IWNiRZ-PIB w Zakładzie Inżynierii Bioproduktów.

4.3.3.9 Badanie termostabilności i analiza związków wydzielonych podczas termicznego rozpadu w warunkach pirolizy

Badania TGA-FTiR wykonano przy użyciu analizatora termogravimetrycznego Q50 oraz spektrofotometru iZ10 firmy TA Instruments. Próbkę włókna o masie 10 mg ogrzewano w zakresie temperatury $30-700^{\circ}\text{C}$, przy czym temperatura grzania wzrastała z prędkością

10°C/min, w atmosferze azotu o stałym przepływie gazu 90 cm³/min. Badania wydzielonych związków podczas termicznego rozpadu analizowano przy zastosowaniu spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR). Prędkość rejestracji widma tła wynosiła 32 skany na minutę natomiast widmo uwolnionych gazów rejestrowane było z prędkością 8 skanów na minutę. Zarejestrowane widma przy rozdzielczości 4 cm⁻¹ ilustrują zależności absorpcji od długości fal w zakresie od 600 do 4000 cm⁻¹. Badania wykonano w IWNiRZ-PIB w Zakładzie Innowacyjnych Technologii Włókienniczych.

5. Wyniki badań i dyskusja wyników badań surowców oraz wytworzonych z nich materiałów izolacyjnych

5.1 Wełna owcza

5.1.1.1 Charakterystyka wybranych ras owiec hodowanych w Polsce na terenach górskich i podgórskich

Podczas badań przeprowadzono analizę stanu hodowli owiec na terenach górskich i podgórskich w Polsce południowej. Badania przeprowadzono dla wybranych stad hodowanych w województwach: małopolskim, śląskim, dolnośląskim i świętokrzyskim. W czasie badań analizowano miejsce pochodzenia danego stada, sposób żywienia wytypowanych owiec w okresie letnim oraz zimowym, typ do którego klasyfikowane są owce danej rasy, licznosc stada danej rasy, typy okrywy wełnistej/runo oraz z jaką częstotliwością odbywa się strzyża. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Charakterystyka hodowli owiec z terenów górskich i podgórszych.

Województwo/ liczba owiec	Lokalizacja	Hodowla	Rasa owiec	Typ	Liczność stada	Runo	Strzyża
małopolskie (76 550 sztuk)	Nowy Targ (Podhale)	tradycyjna gospodarka pasterska, wypas letni – kończyna, trawa, użytki zielone, karmienie zimą – siano, wytloki buraczane, owies, kukurydza, (zima – owczarnia),	Polska owca pogórza	mięsno-wełnisty	80	J	1x/rok
			Polska owca górską (barwna)	wełnisto-mleczny	120	M	
			Czarnogłówa	mięsny	158	J	
			Polska owca górską	wełnisto-mleczny	50	M	
	Cakiel podhalański	100	M				
	Studzina (Beskid Sądecki)	tradycyjna gospodarka pasterska, wypas letni – kończyna, trawa, życica, karmienie zimą – siano buraki, otręby i owies, (zima – zamknięta owczarnia),	Valaska	mięsno-wełnisty	72	J	1x/rok
Cikta			66		M		
Polska owca górską (krzyżówka z Valaską)			wszechstronny	63	M		
śląskie (15 090 sztuk)	Koniaków (Beskid Śląski)	tradycyjna gospodarka pasterska, wypas letni – łąki górskie ok. 1000 m n.p.m.; karmienie zimą – siano, (zima – zamknięta owczarnia),	Polska owca górską (biała)	wełnisto-mleczny	340	M	2x/rok
			Polska owca górską (barwna)	wełnisto-mleczny	60	M	
dolnośląskie (11 408 sztuk)	Sulistrowiczki (podnóże Ślązy)	wypas letni – trawa, kończyna, użytki zielone, karmienie zimą – pasza objętościowa, siano i dodatki paszy treściwej, owies, wytloki buraczane, ziemniaki, groch i kukurydza, (zima – zamknięta owczarnia),	Białogłowa owca mięsna	mięsny	140	J	1x/rok
			Shropshire	mięsny	60	J	
świętokrzyskie (6 778 sztuk)	Góry Świętokrzyskie	wypas letni – trawa, kończyna, użytki zielone karmienie zimą – pasza objętościowa, kiszonki, słoma, siano (zima – zamknięta owczarnia),	Texel	mięsny	150	J	1x/rok
			Świniarka	wszechstronny	130	M	
		wypas letni – zielonka z pastwisk, siano, owies, karmienie zimą – siano, sianokiszonka z lucerny słoma jęczmienna, ziarno owsa, (zima – zamknięta owczarnia),	Czarnogłówa	mięsny	37	J	
		wypas letni – zielonka z pastwisk (dominują szlachetne odmiany trawa), siano, karmienie zimą – siano, sianokiszonka, słoma owsiana i ziarno owsa, (zima – zamknięta owczarnia),	Wielkopolska	mięsno-wełnisty	152	J	
		latem i zimą – owczarnia; pokarm siano, sianokiszonka z traw, słoma owsiana, ziarna owsa,	Polska owca nizinna	mięsno-wełnisty	62	J	

Hodowla owiec ma ważne znaczenie kulturowe służące zachowaniu narodowej tradycji pasterskiej oraz miejscowego krajobrazu górskiego [92].

Hodowla owiec w Polsce zlokalizowana na terenach górskich i podgórskich dotyczy wszystkich województw Polski południowej. Wg danych Głównego Urzędu Statystycznego pochodzących z roku 2021 [82], największa liczba owiec hodowanych na terenach Polski południowej znajduje się w województwie małopolskim. Pogłowie owiec w tym rejonie wynosi 76 550 sztuk. Kolejne miejsce zajmuje województwo śląskie z liczbą pogłowia 15 090 sztuk, następnie podkarpackie z liczbą owiec 14 581 sztuk oraz dolnośląskie, gdzie liczba owiec wynosi 11 408 sztuk. W województwie świętokrzyskim liczba pogłowia sięga 6 778 sztuk. Najmniej owiec hodzi się w województwie opolskim w którym pogłowie wynosi 2 756 sztuk.

W zależności od regionu obserwuje się wyraźne różnice organizacyjne wypasu. W niektórych miejscach stosowana jest tradycyjna gospodarka pasterska, gdzie wypas letni odbywa się w systemie wypasu wolnego na pastwiskach górskich, natomiast zimą owce są przetrzymywane w owczarniach (dotyczy to głównie ras owiec typowo górskich). Pozostałe rasy w okresie letnim wypasane są na pastwiskach przy gospodarstwach. Nieliczne gospodarstwa stosują także system, w którym owce spędzają cały rok w owczarniach. W okresie letnim dominuje dieta oparta na użytkach zielonych, głównie trawie, kończynie i życicy. W okresie zimowych w zależności od stada, owce karmione są sianem, wytlókami buraczanymi, owsem, kukurydzą, różnego rodzaju paszami, ziemniakami, grochem.

Analizując można stwierdzić, że obecnie w Polsce na terenach górskich i podgórskich występuje wyraźne zróżnicowanie rasowe pogłowia owiec. Typowymi rasami górskimi, których cechy umożliwiają wypas na trudnych terenach górskich, stokach o dużych nachyleniach oraz posiadające większą od pozostałych ras odporność na choroby są Polska owca górską, Polska owca górską odmiany barwnej, Polska owca pogórza, Cakiel podhalański, Valaska i Cikta. Do innych ras hodowanych na tych terenach należą Czarnogłówa, Świniarka, Polska owca nizinna, Wielkopolska, Texel, Shropshire czy Białogłowa owca mięsna. Rasy opisano poniżej.

Polska owca górska



Rysunek 21. Polska owca górska. Źródło: Zasoby internetowe „agrofoto.pl”.

Polską owcę górską (Rysunek 21) wyhodowano na drodze skrzyżowania polskiego cakla (cakla karpackiego) z caklem siedmiogrodzkim i owcą Fryzyjską. Rasa ta odznacza się mleczno – wełnistym kierunkiem użytkowania [84,85,91]. Tryki posiadają szeroko rozstawione rogi. Część macierek również może posiadać rogi. Są to owce dość duże o mocnej konstrukcji ciała.

Masa ciała tryków wynosi 70–80 kg, macierek 45–50 kg. Polska owca górska to owca o silnie rozwiniętym instynkcie stadnym ułatwiającym wypasanie na otwartych przestrzeniach, utrzymywane są wg tradycyjnej technologii dopasowanej do surowych warunków środowiskowych. Polska owca górska jest rasą niezwykle odporną i mało wymagającą [84, 85, 91]. Wg danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie 43 693 sztuk.

Owce tej rasy posiadają białą okrywą włosową, mieszaną o luźnej kosmykowej budowie i charakterystycznej bruździe grzbietowej. W kosmyku wyróżnia się trzy frakcje, przewodnią, przejściową i puchową. Długość, kosmyków w odroście rocznym wynosi ok. 30 cm przy długości włosów puchowych ok. 15 cm, o średnicy 28–35 μm . Masa runa u macierek wynosi ok. 3,4 kg, tryków do 6 kg [87]. Wełna tej rasy nadaje się do wyrobu dywanów, a także wyrobów ludowych i artystycznych.

Polska owca górska odmiany barwnej



Rysunek 22. Polska owca górska odmiany barwnej [93].

Barwna owca górska (Rysunek 22) jest rodzimą odmianą, prymitywnej grupy rasowej cakiel, występującej od wieków na terenie Karpat Południowych i części Bałkanów. Na obszar polskich Karpat, przywędrowała wraz z białą odmianą w czasie przemieszczania się wołosko-ruskich plemion pasterskich wzdłuż łańcucha Karpat. Owce rasy barwnej

owcy górskiej należą do wełnisto-mlecznego typu użytkowego [94]. Budowa ciała barwnej owcy górskiej jest zbliżona do polskiej owcy górskiej, charakteryzuje ją wąska klatka piersiowa i ścięty zad. U tryków występują okazałe rogi w formie ślimakowatej lub świdrowatej, natomiast u maciorek rogi się nie wytworzyły, bądź występują w formie szczątkowej [95]. W umaszczeniu owcy tej rasy typowym jest biała końcówka ogona oraz występowanie białej plamy (gwiazdki) lub łysinki na głowie. Masa ciała maciorek wynosi ok. 40 kg, tryków 50 kg.

Polska owca góraska odmiany barwnej jest przystosowana do życia w surowych warunkach górskich. Obecność tej rasy w populacji owiec przyczynia się do zachowania różnorodności genetycznej owiec w Polsce [96]. Owce te są chętnie hodowane przez górali ze względu na ciekawą barwę wełny i skóry, które są wykorzystywane do wytwarzania strojów regionalnych lub elementów dekoracyjnych. Barwna owca góraska – wraz z siostrzaną owcą białą – stała się nieodłącznym elementem regionalnej gospodarki oraz góralskiego folkloru.

Wg danych Instytutu Zootechniki (IZOO) w roku 2020 liczba stad objętych ochroną Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej wynosiła 30, natomiast liczba zwierząt 2150 sztuk [97].

Polska owca góraska odmiany barwnej posiada okrywą mieszaną złożoną z włosów puchowych i rdzeniowych o barwie brunatnej, wraz z wiekiem owiec wełna przybiera barwę siwą lub rudą. Plamistość tułowia owcy świadczy, że jest ona mieszańcem z odmianą białą. Struktura okrywy włosowej jest luźna kosmkowa, wełna mieszana dwufrakcyjna pokrywająca cały tułów, głowę po linię oczu i odnóża do stawów skokowych i nadgarstkowych. Na grzbiecie długie kosmyki rozdzielają się i zwisają równomiernie po obu stronach tułowia. Średnica włókien wynosi od 28 do 70 μm . Łączna wydajność wełny potnej w ciągu roku szacuje się na poziomie ok. 3–4 kg dla maciorek.

Polska owca pogórza



Rysunek 23. Polska owca pogórza [98].

Polska owca pogórza (Rysunek 23) to lokalna rasa, wyhodowana na terenie Pogórza Karpackiego i Przedgórze Sudeckiego. Powstała po 1960 roku przez krzyżowanie twórcze Polskiej owcy górskiej z trykami rasy Owcy fryzyjskiej, Leicester i Kent, a częściowo także Teksel, Leine lub Cygaj, zależnie od rejonu (gminy). W wyniku pracy hodowlanej

nabyła specyficzne cechy, dzięki którym doskonale przystosowała się do warunków podgórskich rejonów Polski. Polska owca pogórza to owca w typie mięsno-wełnistym z możliwością użytkowania mlecznego [85, 86]. Owce tej rasy są dość duże o długim i szerokim tułowiu, na średnio wysokich nogach. Wyróżniają się średnio szeroką głową z dużymi uszami, rogatość jest niedopuszczalna, dopuszczalne jest naroże. Masa ciała macierek wynosi ok. 55–60 kg, tryków ok. 70–90 kg [80].

Wg danych IZOO w roku 2020 liczba stad objętych ochroną Polskiej owcy pogórza wynosiła 18, natomiast liczba zwierząt 1559 sztuk [97].

Polska owca pogórza posiada umaszczenie białe z dopuszczalnymi ciemnymi i żółtymi odcieniami na głowie, uszach i kończynach. Należy do owiec długowełnistych [84], posiada wełnę jednolitą [85] średnio grubą i grubą (zdarza się jednak nawet do 10% zawartości włosów rdzeniowych). Posiada runo półotwarte, składające się ze słupków stożkowatych. Roczna wydajność wełny potnej wynosi ok. 4–5 kg od maciorki i ok. 6–8 kg od tryka przy wysadności 15–20 cm [87].

Cakiel podhalański



Rysunek 24. Cakiel podhalański [97].

Cakle podhalańskie (Rysunek 24) były od wieków utrzymywane na terenie Podhala, Podkarpacia i w Beskidach. Tradycja chowu tych owiec sięga okresu przemieszczania się wołosko-ruskich plemion pasterskich wzdłuż łańcucha Karpat, które trwało od XIV wieku i zakończyło się na Bramie Morawskiej w wieku XVI. Wyróżniane były dwie odmiany cakla podhalańskiego,

zachodnia i wschodnia. Na całym Podhalu i w Karpatach Zachodnich hodowana była wyłącznie odmiana biała [97]. Są to owce o wełnisto-mlecznym kierunku użytkowania. Wyróżniają się średnio szeroką głową z dobrze porośniętymi sierścią uszami. Wokół oczu i na końcach uszu mogą posiadać ciemne plamy. Tryki posiadają szeroko rozstawione rogi o kształcie ślimakowym. Część macierek również posiada rogi. Kończyny są średnio wysokie. Masa ciała tryków wynosi ok. 65 kg, macierek ok. 45 kg [99]. Owce te wyróżniają się długowiecznością, silnym instynktem macierzyńskim oraz pasterskim [128].

Wg danych IZOO w roku 2020 liczba stad cakla podhalańskiego, objętych ochroną wynosiła 106, natomiast liczba zwierząt 7962 sztuk [97].

Posiadają białą okrywę wełnistą prawie otwartą, dość gęstą, składająca się z długich kosmków rozdzielających się na grzbiecie, równomiernie opadających na obie strony tułowia.

Roczna wydajność strzyżna wełny potnej u tryków wynosi ok. 4 kg, natomiast u maciorek ok. 3 kg. Grubość włosów puchowych wynosi ok. 24–29 μm , natomiast włosów przewodnich 37–60 μm .

Czarnogłówka



Rysunek 25. Owce rasy Czarnogłówka. Źródło: Zasoby internetowe „pulpit.com”.

Rasa Czarnogłówka (Rysunek 25) została wyhodowana w Niemczech na początku XIX wieku. W procesie jej otrzymania wykorzystywano angielskie rasy mięsne, przede wszystkim, Hampshire i Oxford. Obecnie w Polsce hodowla Czarnogłówek prowadzona jest na terenie całego kraju. Są to owce o typie mięsnym [11, 25, 84, 85, 87]. Mają długie, szerokie grzbiecie, głęboką klatkę piersiową, dość dużą głowę

umięśniony zad i udźce oraz krótkie nogi. Ciało dorosłego osobnika pokryte jest białą wełną, natomiast głowa z uszami sterczącymi po bokach i kończyny są czarne. Jagnięta rodzą się z ciemną lub plamistą okrywą włosową, która w niedługim czasie bieleje. Maciorki ważą ok. 60–70 kg, tryki ok. 90–120 kg [11].

Wg danych IZOO w roku 2020 liczba stad tej rasy objętych ochroną wynosiła 68, natomiast liczba zwierząt 3487 sztuk [97].

Owce tej rasy posiadają runo zamknięte. Produkują wełnę jednolitą o wysadności 8–10 cm i średnicy 31–40 μm . Wełna na ogół jest koloru białego w odcieniu kremowym, lecz u niektórych osobników występują w okrywie włosy ciemne. Średnia roczna masa runa tryków wynosi ok. 5,9 kg, maciorek ok. 4,5 kg [25]. Spośród ras mięsnych hodowanych w Polsce użytkowość wełnista tych owiec oceniana jest na drugim miejscu po owcach rasy Texel.

Shropshire



Rysunek 26. Owce rasy Shropshire. Źródło: Źródło: Zbiory prywatne: Hodowla owiec „Owce spod Ślęzy”.

[100]. Jest to jednocześnie jedna z najpopularniejszych owiec hodowlanych w środkowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych. Wypasa się je często w szkółkach drzew iglastych, gdyż nie ogryzają sadzonek [101]. Posiadają charakterystyczny ciemny pysk, który nie jest porośnięty wełną. Ponadto posiadają czarne i krótkie uszy oraz czarne, krótkie i dobrze umięśnione kończyny. Tryki osiągają masę ciała ok. 100–113 kg, natomiast maciorki ok. 60–80 kg [102].

Wg danych ARiMR w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie zaledwie 58 sztuk.

Runo tej rasy jest gęste, elastyczne w dotyku, średnio delikatne, bez czarnych włókien, dobrze karbowane o jednolitej strukturze [103]. Owce rasy Shropshire produkują wełnę o średnicy 29–35 μm . Masa runa od maciorek wynosi ok. 3–5 kg a od tryków 4,5–6,5 kg, wysadność ok. 10 cm.

Rasa Shropshire (Rysunek 26) owiec domowych wywodzi się ze wzgórz Shropshire i North Staffordshire w Anglii. Hodowcy na tym obszarze wykorzystywali miejscowe owce rogate, czarnopyskie i krzyżowali je z kilkoma rasami owiec o białym pysku (Southdown, Cotswold i Leicester). W ten sposób wyhodowano średniej wielkości bezrogie owce o typie mięsnym

Texel



Rysunek 27. Owca rasy Texel. Źródło: Zasoby internetowe burea-uinsurance.com.

Texel (Rysunek 27) pochodzi z wyspy Texel w Holandii, ale do Polski był importowany głównie z Francji. Pierwotnie miejscowe owce były krzyżowane z długowełnistymi rasami angielskimi Leicester i Lincoln [11]. Texel to rasa mięsna odznaczająca się wybitnym umięśnieniem [25, 84, 85]. Owce tej rasy charakteryzują się krótką nieowełnioną głową z ciemnym nosem i szeroko rozstawionymi uszami. Zwierzęta

tej rasy nie posiadają rogów, ale u baranów czasami występują podstawy rogów. Nogi są smukłe i muskularne, najczęściej pokryte krótkimi białymi włosami. Maciorki ważą ok. 65–75 kg, tryki ok. 110–130 kg [11].

Wg danych ARiMR w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie 616 sztuk.

Umaszczenie jest białe, runo charakteryzuje się wysoką gęstością. Sierść jest kredowobiała jak włosy martwe (kemp) [87]. Produkują karbikowaną wełnę jednolitą [85, 87] o średnicy 29–35 μm o wysadności 15 cm i wydajności strzyżnej macierek ok. 4,5 kg, tryków ok. 6 kg.

Świniarka



Rysunek 28. Owca rasy świniarka [104].

Świniarka (Rysunek 28) jest rodzimą, prymitywną rasą owiec. Świniarki stanowiły zawsze populację bardzo zróżnicowaną, co powoduje trudności w ustaleniu pochodzenia tej rasy [104]. Owce te należą do wszechstronnego typu użytkowego. Świniarka jest owcą małą, drobną, niskiego wzrostu, posiada wąską, szczupłą głowę pokrytą

sztynną sierścią. U samic mogą występować rogi szczątkowe, tzw. „kozio”. Samce są zawsze rogate z rogami silnie rozwiniętymi, karbowanymi, spiralnie skręconymi i skierowanymi na zewnątrz, w kolorze białym lub czarnym, czasem z ciemnymi pasmami. Nogi są długie i silne o typowej dla zwierząt prymitywnych iksowatej postawie przednich i krowiej tylnych, pokryte krótką i sztywną sierścią [104]. Średnia masa ciała tryków wynosi ok. 40–50 kg natomiast macierek ok. 25–35 kg.

Pomimo niskiej z natury użyteczności owce tej rasy cechują doskonałe przystosowanie do lokalnych warunków środowiska, minimalne wymagania paszowe oraz odporność na choroby i niekorzystne warunki bytowania. Stwarza to możliwość wykorzystania jej w sposób alternatywny np. jako tzw. rekultywatora nieużytków lub w celu zagospodarowania terenów zielonych i pielęgnacji krajobrazu [96].

Wg danych IZOO w roku 2020 liczba stad tej rasy objętych ochroną wynosiła 39, natomiast liczba zwierząt 2228 sztuk [97].

Umaszczenie świniarek zazwyczaj jest białe, dopuszczalne jest także czarne, brązowe i łaciate. Świniarki posiadają okrywę wełnistą otwartą, luźną, rzadką, która złożona jest z włosów rdzeniowych, przejściowych i puchowych. Okrywa włosowa jest mieszana z tendencją do linienia

i filcowania, w strukturze podobna jest do okrywy wrzosówek – nad frakcją włókien rdzeniowych o średnicy ok. 60 μm , przeważa frakcja włosów puchowych o średnicy 24–26 μm [85]. Wysadność wełny wynosi 17,5–18,5 cm [105]. Łączna wydajność wełny potnej w ciągu roku szacuje się na poziomie ok. 3 kg dla tryków i ok. 2 kg dla maciorek. Wełna może być wykorzystana do przetwórstwa – na dywany i filce.

Polska owca nizinna PON



Rysunek 29. Przykład PON. Źródło: Zasoby internetowe „hodowle.eu”.

zróżnicowanych odmian [11]. Występują w Polsce w kilku odmianach Wielkopolskiej, Coridale, Żelaźnieńskiej, Łowickiej. Należą do ras o użyteczności wełnisto-mięsnej [90]. Są to owce o średniej wielkości o sylwetce głębokiej, osadzonej na dość krótkich nogach. Posiadają szeroką głowę i są bezrogie. Masa ciała dorosłych maciorek wynosi ok. 60–65 kg a tryków ok. 100 kg. Wg danych ARiMR w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie 11116 sztuk.

Posiadają umaszczenie białe, okrywą zamkniętą, wełnę jednolitą, średnio grubą o średnicy 26–38 μm o zwartej słupkowej budowie runa o wysadności 10–12 cm. Masa runa maciorki wynosi ok. 5 kg, tryka ok. 7,5 kg, roczny [106].

Polskie owce nizinne (Rysunek 29) to nazwa grupy ras, które wyhodowano przez krzyżowanie uszlachetniające miejscowego pogłowia prymitywnych maciorek różnych typów z trykami ras Merynos, Kent, Leine, Texel [107]. Owce te nie reprezentują jednego typu, lecz dzielą się na wiele

Wielkopolska



Rysunek 30. Owce wielkopolskie [93].

Owca wielkopolska (Rysunek 30) jest najbardziej liczną odmianą owcy nizinnej. Rasami wyjściowymi w pracy hodowlanej nad otrzymaniem tej owcy były biała Świniarka, Owca leszczyńska i Merynos polski. W krzyżowaniu twórczym użyte zostały także owce angielskiej rasy Kent. Owca wielkopolska należy do rasy wełnisto-

mięsnej [88]. Jest średnio wysoka i bezroga. Rasę tę charakteryzuje mocny kościec i dobre umięśnienie [95]. Tryki osiągają wagę 100–120 kg, natomiast maciorki 65–75 kg.

Wg danych IZOO w roku 2020 liczba stad tej rasy objętych ochroną wynosiła 63, natomiast liczba zwierząt 7867 sztuk [97].

Owce wielkopolskie posiadają umaszczenie białe oraz okrywą jednolitą. Pole obrostu wełną obejmuje tułów, głowę poza częścią twarzową, podbrzusze, na nogach sięga do stawu skokowego. Okrywa włosowa jest prawie zamknięta. Runo jest gęste, dobrze karbikowane o wysadności ok. 12 cm [106]. Wełnę tej rasy charakteryzuje tępe zakończenie słupeków i miękki chwyt. Średnica włókien wynosi ok. 24–38 μm . Od maciorek uzyskuje się 5 kg wełny rocznie, a od tryków 8,3 kg [108].

Białogłowa owca mięsna (BOM)



Rysunek 31. Białogłowa owca mięsna. Źródło: Zbiory prywatne: Hodowla owiec „Owce spod Ślęży”.

Białogłowa owca mięsna (Rysunek 31) została wyhodowana przez krzyżowanie miejscowych maciorek ras Merynos polski i Owca wielkopolska trykami Fryzyjskimi. Owca ta należy do linii syntetycznych. Linie syntetyczne powstały na świecie metodą krzyżowania kilku ras owiec o pożądanym wybitnym cechach

ważnych gospodarczo, takich jak wysoka mleczność czy dobre cechy mięsne. Jest to owca w typie mięsnym. Zwierzęta tej rasy są duże i bezroge. Charakteryzują się średniej długości i szerokości głową, którą pokrywa delikatna biała sierść. Tułów jest długi, klatka piersiowa głęboka. Nogi są średniej długości o grubym kośćcu. Pole obrostu wełną nie obejmuje głowy, uszu i nóg a na podbrzuszu wełna jest krótka [87]. Masa ciała tryków wynosi ok. 110–130 kg, maciorek ok. 70–80 kg [99].

Wg danych ARiMR w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie 1793 sztuk.

Posiadają umaszczenie białe, runo prawie zamknięte, wełna jest jednolita średnio gruba i gruba karbikowana typu krzyżówkowego o wysadności 12–15 cm i grubości 28–33 μm . Od maciorek uzyskuje się ok. 4,5 kg wełny rocznie.

Valaska



Rysunek 32. Rasa Valaska. Źródło: Zasoby internetowe: farmov.com.

Valaska (Rysunek 32) zaliczana jest do rodzimej rasy słowackiej. Rasa ta została wyhodowana przez celowe skrzyżowanie rodzimych owiec wołoskich z trykami różnych importowanych ras, takich jak Cheviot, Hampshire, Lincoln, Texel i Leicester. Ukierunkowana krzyżówka spowodowała poprawę między innymi jakości i ilości wełny. Jest to owca w typie

mięsno-wełnistym [109]. Tryki posiadają zakrzywione, układające się na boki rogi. Maciorki zazwyczaj nie posiadają rogów. Rasa ta charakteryzuje się długą szyją oraz wąskim pyskiem, co pomaga im wyjadać trawę znajdującą się między skałami na stromych i trudno dostępnych pastwiskach. Głowa częściowo porośnięta jest wełną (wełna rośnie jedynie z tyłu głowy), ogon długi w całości pokryty wełną [110]. Maciorki ważą 50–55 kg [111] a tryki ok. 70 kg [110].

Wg danych ARiMR w roku 2020 liczba zwierząt tej rasy w Polsce szacowała się na poziomie 154 sztuk.

Owce tej rasy produkują wełnę w kolorze białym lub kolorową. Akceptowalna jest również wełna czarna. Zwierzęta tej rasy charakteryzują się dobrą adaptacją do trudnych warunków górskich.

Cikta



Rysunek 33. Rasa Cikta. Źródło: Zasoby internetowe: geneconservation.hu

zazwyczaj bezrogie. Zwierzęta tej rasy charakteryzują się niewielkim rozmiarem ciała. Posiadają małą, delikatnie spłaszczoną głowę oraz niewielkie uszy [113]. Masa owiec wynosi od 35 do 45 kg i tryków od 45 do 55 kg. Głowa i stopy pokryte są krótkimi, białymi włosami. Cikta posiada wełnę białą, mieszaną o długości ok. 20 cm. Wydajność strzyżna maciorek na rok wynosi 1,5–2 kg, a tryków 2,5–3,5 kg [114].

Rasa ta jest przystosowana do ekstremalnych warunków klimatycznych panujących w górach.

W Polsce na terenach górskich i podgórskich hodowane są owce o różnych typach użytkowych takich jak mięsno-wełnisty, wełnisto-mleczny, mięsny czy wszechstronny. Analizując można zauważyć, że dominują typy mięsno-wełnisty oraz mięsny. Typ mięsno-wełnisty łączy w sobie korzystne cechy kierunku wełnistego i mięsnego. Owce w typie mięsnym odznaczają się bardzo szybkim tempem wzrostu i wczesnym dojrzewaniem [25].

Analizując można stwierdzić, że stada owiec są niewielkie, dominuje chów owiec rozproszony i drobnostadny. Największe stado, znajdujące się w województwie śląskim liczy 400 sztuk owiec natomiast najmniejsze liczące zaledwie 37 sztuk owiec znajduje się w województwie świętokrzyskim.

W zależności od rasy, owce posiadają okrywę wełnistą jednolitą bądź mieszaną. Wełna pochodząca od ras owiec górskich jest gruba i niejednorodna, jej jakość uniemożliwia produkcję wyrobów wysokiej jakości do celów odzieżowych. Łączenie wełny pochodzącej z owiec z różnych ras pogarsza właściwości przetwórcze. Mieszanka włókien z różnych miejsc i różnych ras nie nadaje się do produkcji przędzy. Mieszanka wełny o różnej charakterystyce może być przetwarzana technikami włókninowymi lub innymi technikami nie wymagającymi formowania przędzy.

W większość przypadków owce są strzyżone 1 raz w roku, za wyjątkiem stada znajdującego się w Koniakowie (Beskid Śląski), gdzie owce są strzyżone 2 razy do roku. W przypadku gospodarstw posiadających niewielką licznosc stada, podczas jednej strzyży uzyskuje się także niewielką ilość wełny (kilkadziesiąt lub co najwyżej kilkaset kg), która jest zbyt mała do przerobu przemysłowego. Pozyskanie większej ilości wełny (kilkaset kg) jest możliwe poprzez kontakt z właścicielami dużego stada (Koniaków).

5.1.2 Wyniki badań włókien wełnianych

Wytypowaną do przeprowadzenia badań wełnę, pochodzącą od różnych ras owiec opisanych w punkcie 5.1.1 oznaczono następującymi symbolami.

Próby pochodzące od ras owiec o okrywie mieszanej (M):

1(M) Polska owca górską (woj. śląskie)

2(M) Polska owca górską (woj. małopolskie)

3(M) Polska owca górską odmiany barwnej (woj. śląskie)

4(M) Polska owca górską odmiany barwnej (woj. małopolskie)

5(M) Polska owca górska (krzyżówka z Valaską) (woj. małopolskie)

6(M) Cakiel podhalański (woj. małopolskie)

7(M) Cikta (woj. małopolskie)

8(M) Świniarka (woj. świętokrzyskie)

Próby pochodzące od ras owiec o okrywie jednolitej (J):

1(J) Polska owca pogórza (woj. małopolskie)

2(J) Valaska (woj. małopolskie)

3(J) Czarnogłówka (woj. małopolskie)

4(J) Czarnogłówka (woj. świętokrzyskie)

5(J) Białogłowa owca mięsna (woj. dolnośląskie)

6(J) Shropshire (woj. dolnośląskie)

7(J) Texel (woj. świętokrzyskie)

8(J) Polska owca nizinna (woj. świętokrzyskie)

9(J) Wielkopolska (woj. świętokrzyskie)









Na rysunkach 34, 35 zaprezentowano fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M). Na rysunkach 36, 37 zaprezentowano fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J).

1(M) Polska owca górska (woj. śląskie)	2(M) Polska owca górska (woj. małopolskie)	3(M) Polska owca górska odmiany barwnej (woj. śląskie)	4(M) Polska owca górska odmiany barwnej (woj. małopolskie)
Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna
			
Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana
			











Rysunek 34. Fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

5(M) Polska owca górska (krzyżówka z Valaską) (woj. małopolskie)	6(M) Cakiel podhalański (woj. małopolskie)	7(M) Cikta (woj. małopolskie)	8(M) Świniarka (woj. świętokrzyskie)
Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna
			
Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana
			

Rysunek 35. Fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

1(J) Polska owca pogórza (woj. małopolskie)	2(J) Valaska (woj. małopolskie)	3(J) Czarnogłówka (woj. małopolskie)	4(J) Czarnogłówka (woj. świętokrzyskie)
Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna
			
Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana
			

Rysunek 36. Fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

5(J) Białogłowa owca mięsna (woj. dolnośląskie)	6(J) Shropshire (woj. dolnośląskie)	7(J) Texel (woj. świętokrzyskie)	8(J) Polska owca nizinna (woj. świętokrzyskie)	9(J) Wielkopolska (woj. świętokrzyskie)
Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna	Wełna potna
				
Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana	Wełna prana
				

Rysunek 37. Fotografie wełny owczej potnej oraz pranej, pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Analizując fotografie zaprezentowane na rysunkach 34–37 można stwierdzić, że zarówno w przypadku wełny potnej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) jak i jednolitym (J) występują intensywne zabrudzenia, które w dużej części zostały usunięte w procesie prania. Porównując próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z różnych województw, można wywnioskować, że próba od owiec hodowanych w województwie śląskim posiada w runie co najmniej dwa kolory, kremowy i ciemnobrązowy, natomiast w próbie pochodzącej ze stada z województwa małopolskiego nie występuje domieszka włókien o innej barwie niż czarna.

W przypadku wełny potnej pochodzącej od ras Polskiej owcy pogórza, Czarnogłówki, Białogłowej owcy mięsnej, Texel, Polskiej owcy nizinnej i Wielkopolskiej wyraźnie zaznaczone są karbiki na włóknach. Ponadto wełna potna posiada różnego rodzaju zanieczyszczenia takie jak źdźbła trawy, nasiona, których przykład zaprezentowano na rysunku 38.



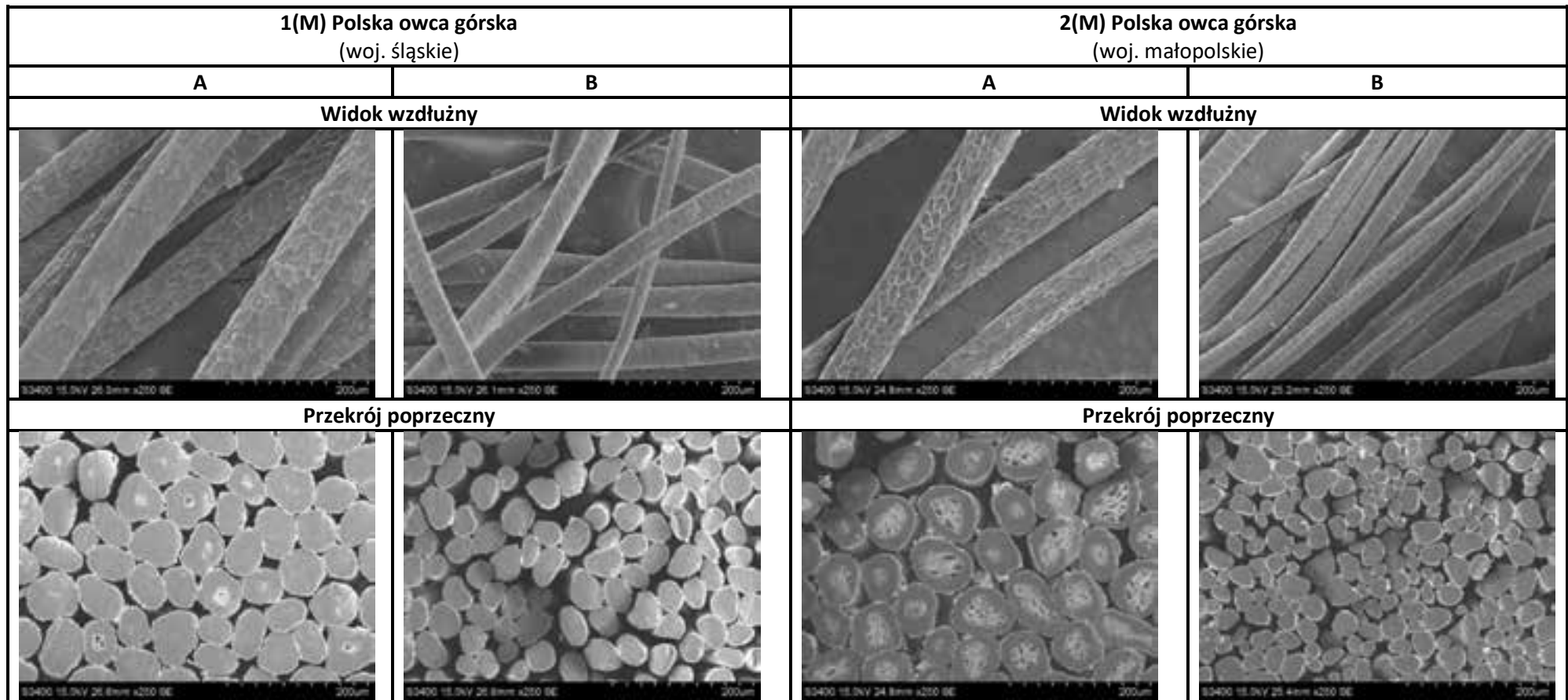
Rysunek 38. Przykład zanieczyszczeń pochodzących z runa owcy rasy Wielkopolska. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

5.1.2.1 Badania morfologii powierzchni i przekrojów poprzecznych włókien

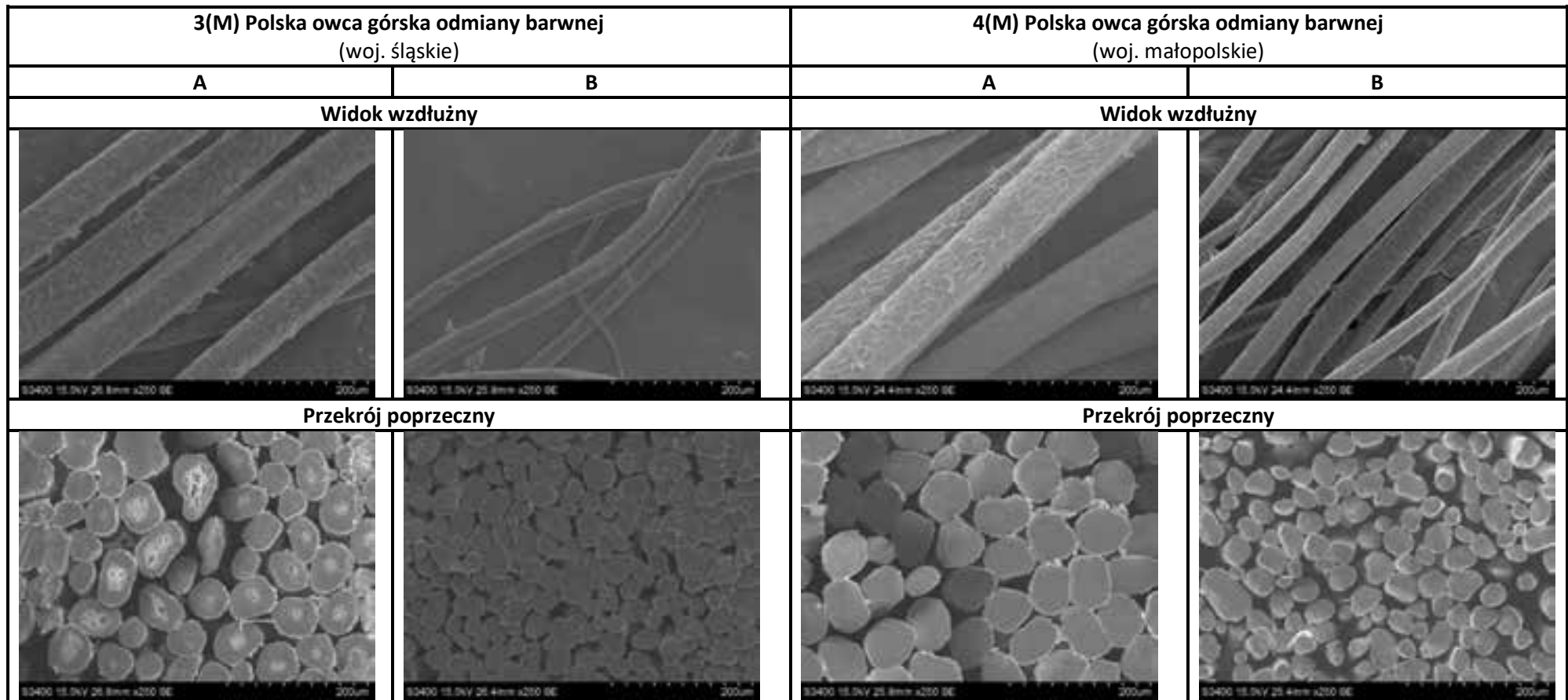
W przypadku badanego runa pochodzącego od różnych ras owiec z terenów górskich i podgórskich mamy do czynienia z runem mieszanym (M) oraz z runem jednolitym (J).

5.1.2.1.1 Okrywa mieszana (M)

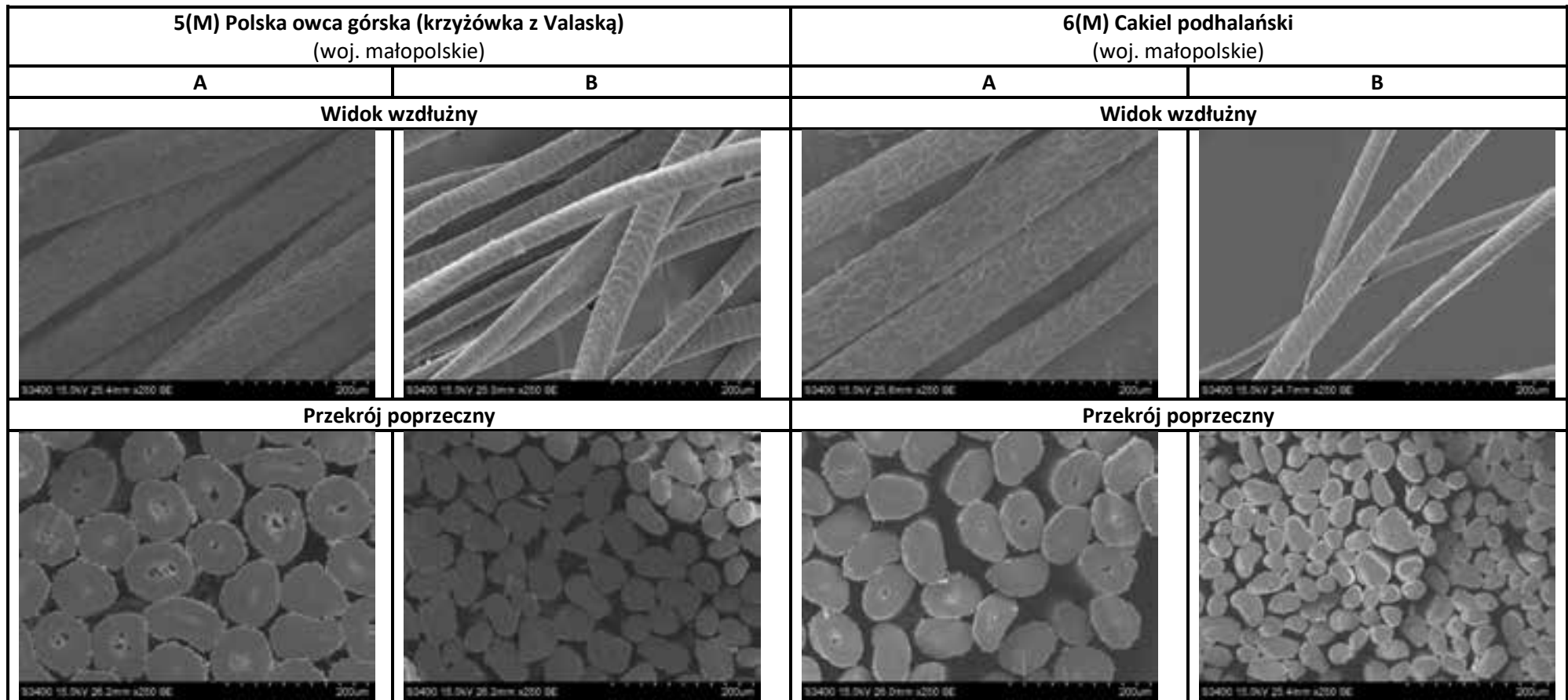
Na rysunkach 39–42 zaprezentowano mikrofotografie wykonane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego, widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M). Na zdjęciach przedstawiono włókna tworzące okrywę zewnętrzną (A) oraz wewnętrzną (B). W tabeli 6 zaprezentowano wyniki pomiarów odległości między krawędziami łusek, pół powierzchni przekroju poprzecznego włókien i rdzeni oraz stosunek pola powierzchni przekroju poprzecznego rdzenia do pola powierzchni przekroju poprzecznego włókna.



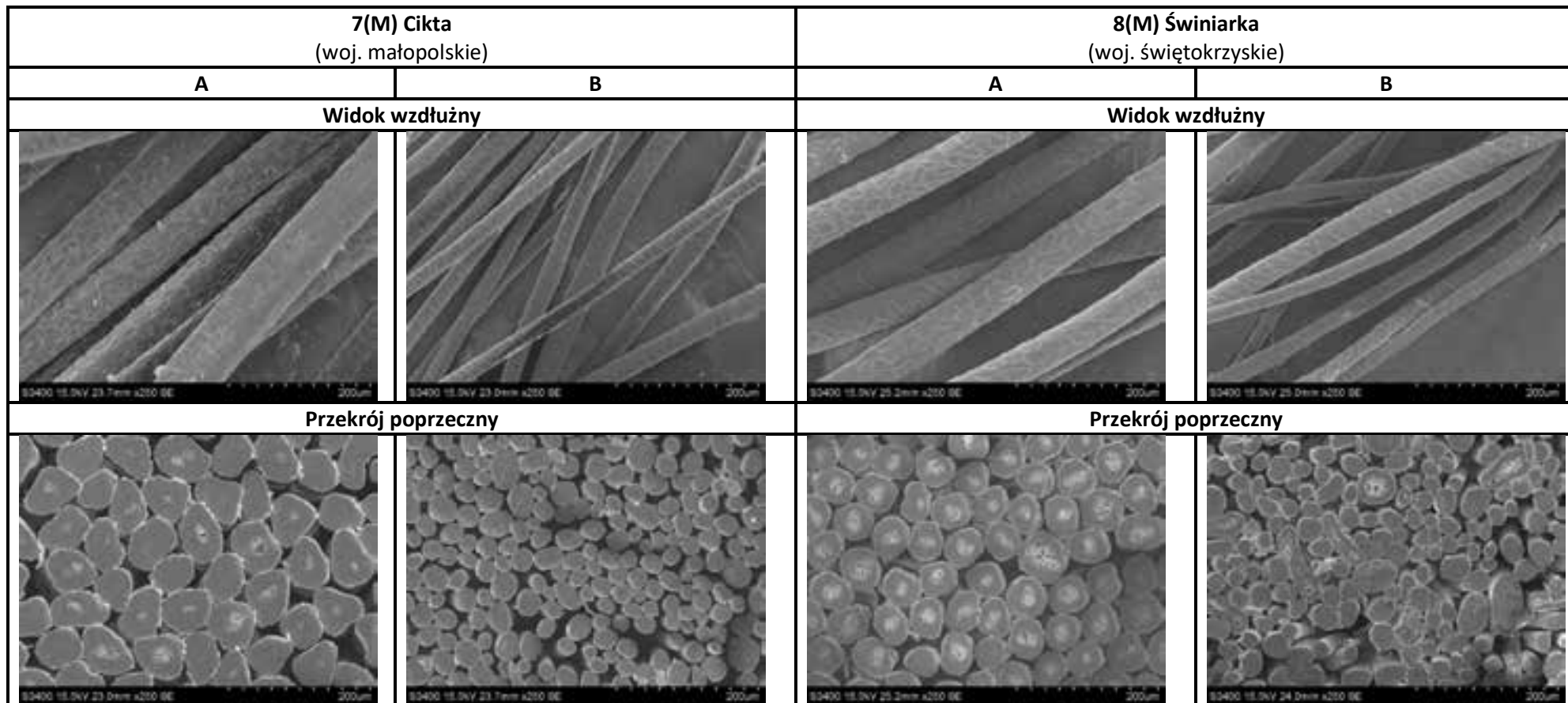
Rysunek 39. Mikrofotografie widoków wzdużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M); włókna tworzące okrywę zewnętrzną (A) i wewnętrzną (B). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 40. Mikrofotografie widoków wzdużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) włókna tworzące okrywę zewnętrzną (A) i wewnętrzną (B). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 41. Mikrofotografie widoków wzdużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) włókna tworzące okrywę zewnętrzną (A) i wewnętrzną (B). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 42. Mikrofotografie widoków wzdużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) włókna tworzące okrywę zewnętrzną (A) i wewnętrzną (B). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

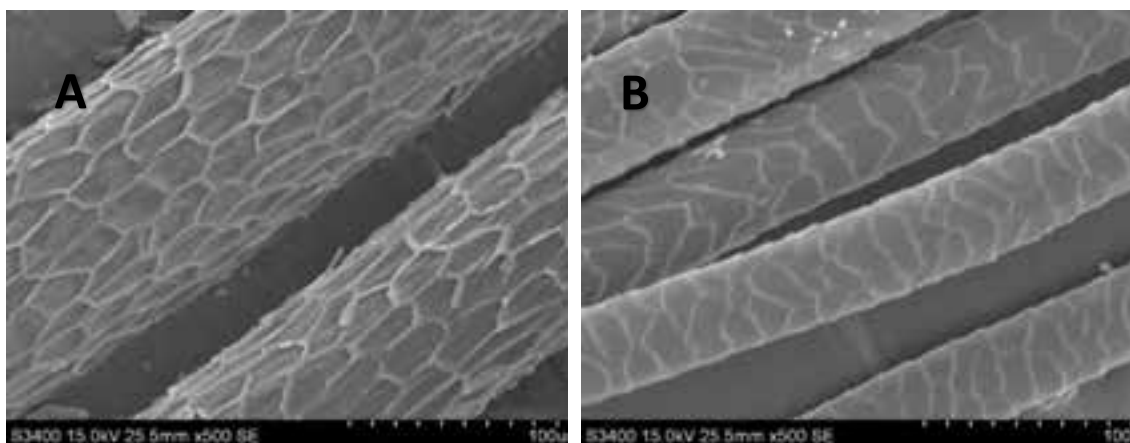
Tabela 6. Wartości średnie odległości między krawędziami łusek, pół powierzchni przekroju poprzecznego włókien i rdzeni oraz stosunek pola powierzchni przekroju poprzecznego rdzenia do pola powierzchni przekroju poprzecznego włókna dla prób pochodzących od ras owiec o wełnie mieszanej (M).

Próba		Odległość między krawędziami łusek		Pole przekroju poprzecznego włókien		Pole przekroju poprzecznego rdzenia		Stosunek pola przekroju poprzecznego rdzenia do pola przekroju poprzecznego włókna
		μm	SD	μm ²	SD	μm ²	SD	%
1(M)	A	35,2	4,5	4748,2	845,9	539,3	171,0	11,6
	B	15,8	2,5	1341,7	469,4	- *	- *	- *
2(M)	A	28,0	4,0	2666,5	559,6	660,2	250,1	29,1
	B	15,1	2,6	659,5	329,8	- *	- *	- *
3(M)	A	31,2	4,4	3170,8	1221,8	628,3	190,0	19,8
	B	12,8	2,1	801,5	387,1	- *	- *	- *
4(M)	A	26,4	4,1	3651,9	500,8	- *	- *	- *
	B	17,2	3,1	873,6	481,7	- *	- *	- *
5(M)	A	30,1	5,0	4852,9	1142,7	596,3	230,2	12,3
	B	16,3	3,7	1429,2	544,9	- *	- *	- *
6(M)	A	26,5	4,1	4514,7	777,0	340,0	150,0	7,5
	B	12,1	2,5	842,0	347,1	- *	- *	- *
7(M)	A	27,7	3,5	4195,6	719,6	310,0	131,0	7,4
	B	14,8	2,8	755,0	357,4	- *	- *	- *
8(M)	A	30,4	4,7	2083,9	405,1	390,0	190,0	18,7
	B	11,1	2,1	749,2	335,9	- *	- *	- *

- * nie dotyczy (włókna bezrdzeniowe)

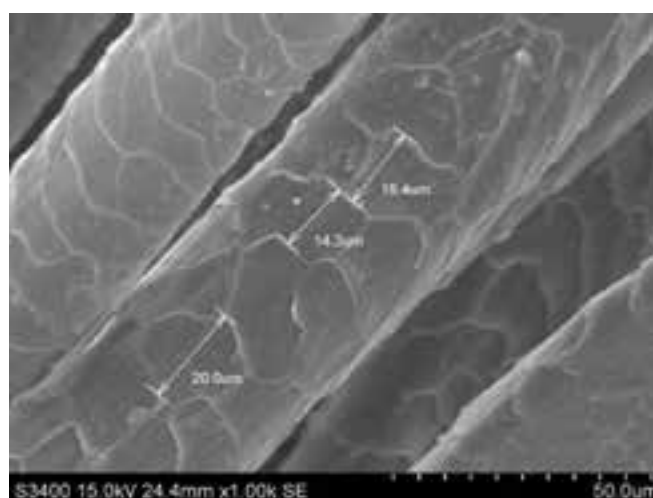
Analizując fotografie zawarte na rysunkach 39–42 można stwierdzić, że w wełnie owczej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) występują dwa rodzaje włosów, grube stanowiące okrywę warstwy zewnętrznej (A) oraz puchowe stanowiące okrywę warstwy wewnętrznej (B).

Łuski występujące na włóknach tworzących okrywę zewnętrzną (A) w znacznym stopniu różnią się wyglądem od łusek występujących na włóknach tworzących okrywę wewnętrzną (B). Ich długość, kształt oraz ułożenie są różne w zależności od grubości włosa. W celu dokładniejszego zobrazowania różnic w wyglądzie i strukturze łusek występujących w obu okrywach, na rysunku 43 zestawiono przykładowe mikrofotografie o powiększeniu 500x dla wełny pochodzącej od rasy Cakiel podhalański.



Rysunek 43. Mikrofotografia widoków wzdłużnych łusek występujące w okrywie zewnętrznej (A) i okrywie wewnętrznej (B) u rasy Cakiel podhalański. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

W przypadku włókien występujących w okrywie zewnętrznej (A), łuski są wydłużone, wyraźnie zwężają się ku górze i posiadają kształt regularnych wielokątów. Przeprowadzone pomiary odległości między krawędziami łusek (Tabela 6) wskazują, że włókna grube pochodzące od ras owiec o wełnie mieszanej (M) stanowiące okrywę zewnętrzną (A) posiadają łuski o znacznie większej długości w porównaniu z łuskami występującymi na włóknach okrywy wewnętrznej (B). Na rysunku 44 zaprezentowano przykładową fotografię z zaznaczonymi odległościami między krawędziami łusek.



Rysunek 44. Mikrofotografia widoku wzdłużnego włókien wełny wraz z przykładowym pomiarem odległości pomiędzy krawędziami łusek. Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Wartości średnie odległości między krawędziami łusek (Tabela 6) dla prób (A) mieszczą się w przedziale 26,4–35,2 μm , natomiast dla prób (B) 11,1–17,2 μm . W przypadku włókien pochodzących z okrywy zewnętrznej (A) największe odległości pomiędzy krawędziami łusek posiadały próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego (35,2 μm) oraz Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z tego samego stada (31,2 μm). Strzyża owiec tego stada odbywa się 2 do roku, ponadto owce obu ras z racji tego, że pochodzą z jednego stada są karmione w ten sam sposób (Tabela 5), zatem pozwala to przypuszczać, że częstotliwość strzyży

oraz stosowana dieta mogą mieć wpływ na strukturę powierzchni zewnętrznej włókna w tym wielkości i kształt łusek.

W przypadku prób pochodzących od tej samej rasy owiec, ale z województwa małopolskiego, gdzie strzyże odbywają się raz do roku i występowały różnice w stosowanej diecie, wartości średnie odległości pomiędzy łuskami były niższe i wynosiły 28 μm dla Polskiej owcy górskiej oraz 26,4 μm dla Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej. Zbliżone wartości odległości między krawędziami łusek wykazują włókna pochodzące od ras Cikta (27,7 μm) oraz Cakiel Podhalański (26,5 μm).

W przypadku włókien stanowiących okrywę wewnętrzną (B) największe odległości pomiędzy krawędziami łusek posiadały próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego (17,2 μm) oraz Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską (16,3 μm). Najmniejsze odległości pomiędzy krawędziami łusek wykazały próby pochodzące od Śwniarki (11,1 μm) oraz Cakła podhalańskiego (12,1 μm). Wg danych literaturowych [21] dla włókien cienkich wyróżnia się układ łusek „pierścieniowy”, gdzie na obwodzie włosa zazwyczaj występują tylko dwie łuski co potwierdzają fotografie umieszczone na rysunkach 39–42.

W czasie badań okrywy mieszanej (M) stwierdzono, że w przekroju poprzecznym włókien tworzących okrywę zewnętrzną (A) w większości badanych prób występuje wyraźnie zaznaczony rdzeń. Wyjątek stanowiła próba pochodząca od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego. Rdzeń w tych próbach występował sporadycznie i był jedynie delikatnie zaznaczony.

Na podstawie wyników pomiarów pola przekroju poprzecznego włókien oraz pola przekroju poprzecznego rdzenia obliczono wartości średnie i określono stosunek pola przekroju poprzecznego rdzenia do pola przekroju poprzecznego włókna. Na rysunku 45 zaprezentowano przykładową fotografię z zaznaczonymi za pomocą oprogramowania NIS-Elements, polami przekroju poprzecznego włókien oraz rdzeni.



Rysunek 45. Przykładowa fotografia z zaznaczonymi za pomocą oprogramowania NIS-Elements, polami przekroju poprzecznego włókien oraz rdzeni. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Próba pochodząca od Polskiej owcy górskiej (odmiany białej) z województwa małopolskiego posiada największy i najwyraźniej zaznaczony rdzeń (Rysunek 39), który zajmuje ok. 29,1% przekroju poprzecznego włókna. Wełna pochodząca od rasy Cikta, charakteryzuje się rdzeniem o najmniejszej średnicy i jednocześnie najniższym stosunkiem pola przekroju poprzecznego rdzenia do pola przekroju poprzecznego włókna, który wynosi 7,4 %.

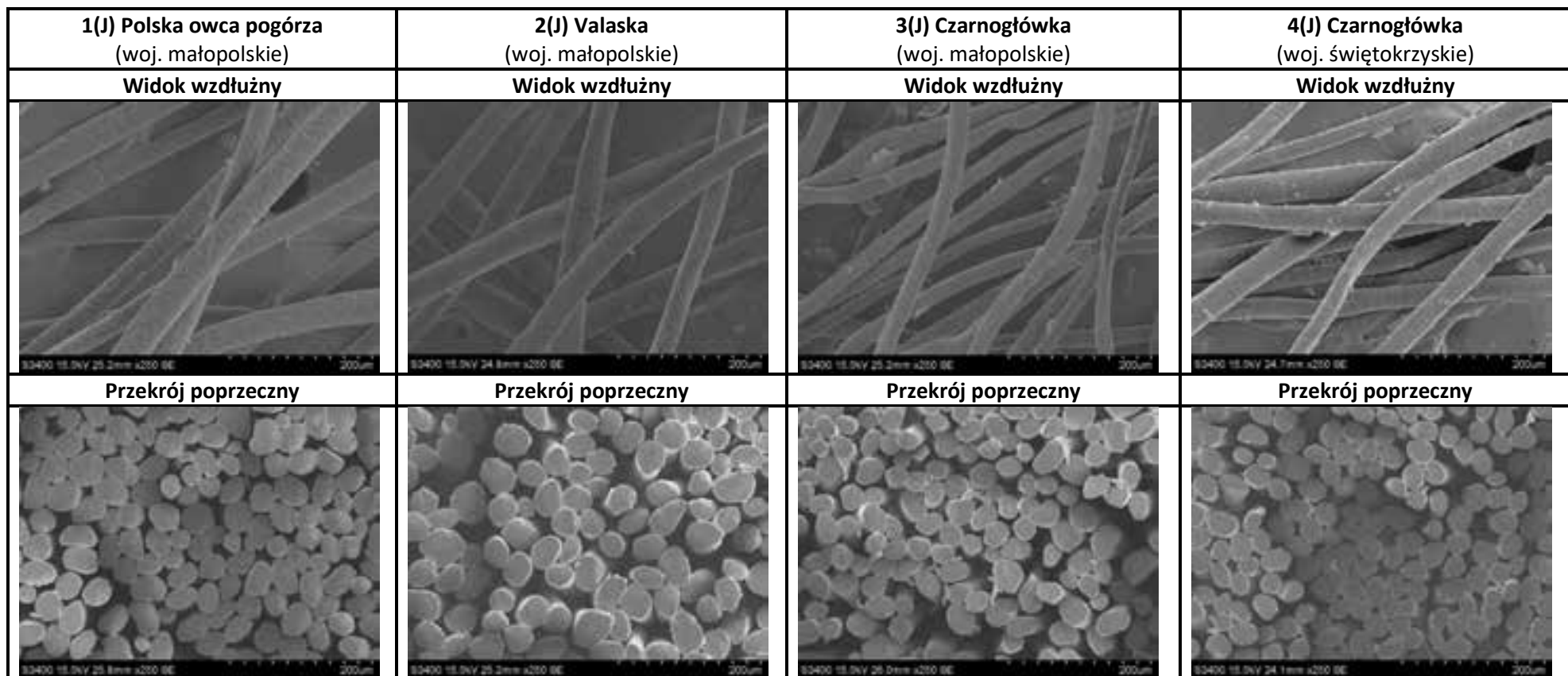
Porównując mikrofotografie przekrojów poprzecznych (Rysunek 40) oraz wyniki badań zaprezentowane w tabeli 6, dla prób pochodzących od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z dwóch różnych województw Polski południowej można stwierdzić, że we włóknach pochodzących ze stada z województwa śląskiego występują wyraźnie zarysowane rdzenie, które stanowią 19,8 % pola przekroju poprzecznego włókien, natomiast we włóknach pochodzących od tej samej rasy ale z województwa małopolskiego rdzeń praktycznie nie występował, był widoczny w zaledwie kilku włóknach w polu widzenia i posiadał bardzo delikatny zarys.

W przypadku prób pochodzących od Cakła podhalańskiego z województwa małopolskiego oraz Cikty z województwa małopolskiego, stosunek pola przekroju poprzecznego rdzenia do pola przekroju poprzecznego włókna wynosił ok. 7,5 %.

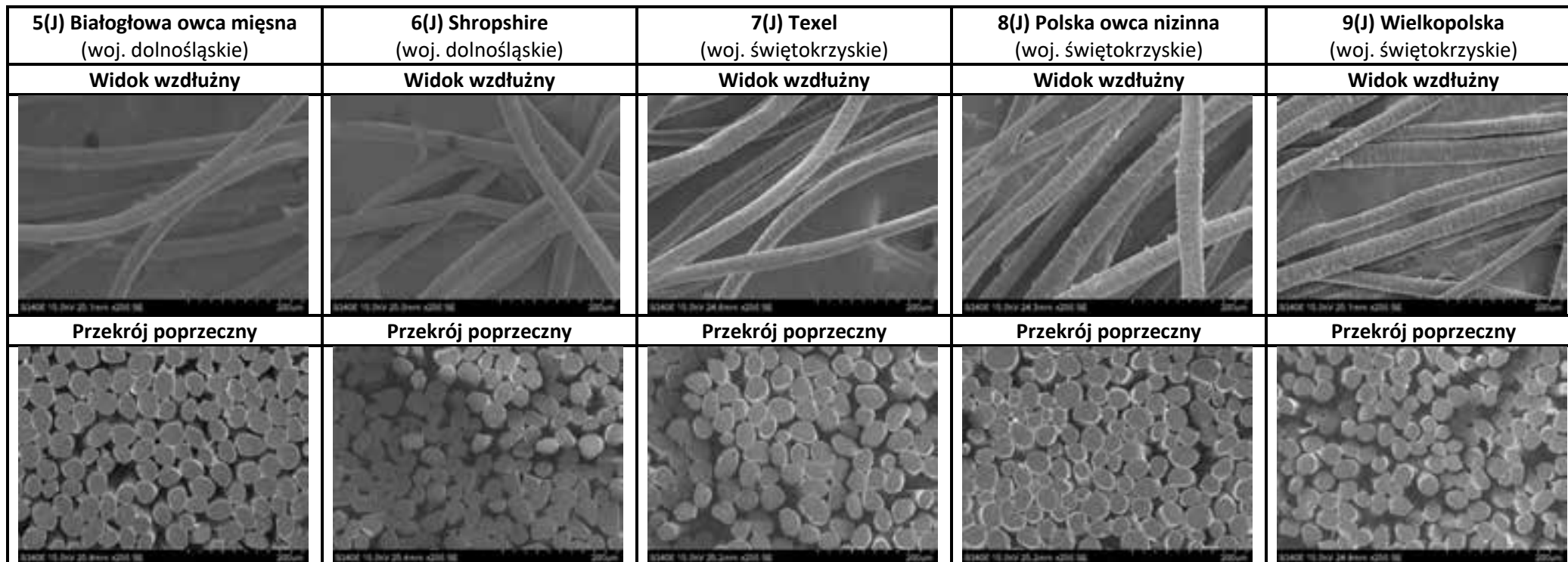
Analizując mikrofotografie przekrojów poprzecznych prób pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M) okrywy wewnętrznej-B (Rysunki 39-42), można stwierdzić, że w okrywie tej nie występują włosy rdzeniowe. Widoczne pojedyncze włosy rdzeniowe w próbach pochodzących od Cakła podhalańskiego z województwa małopolskiego oraz Świniarki z województwa świętokrzyskiego mogą wskazywać na niedokładne posegregowanie okrywy na okrywę zewnętrzną (A) i wewnętrzną (B).

5.1.2.1.2 Okrywa jednolita (J)

Na rysunkach 46, 47 zaprezentowano mikrofotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). W tabeli 7 zaprezentowano wyniki pomiarów odległości między krawędziami łusek i pół powierzchni przekroju poprzecznego włókien.



Rysunek 46. Mikrofotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.



Rysunek 47. Mikrofotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Tabela 7. Wartości średnie odległości między krawędziami łusek i pół powierzchni przekroju poprzecznego włókien dla prób pochodzących od ras owiec o wełnie jednolitej (J).

Próba	Odległość między krawędziami łusek		Pole przekroju poprzecznego włókien	
	μm	SD	μm ²	SD
1(J)	14,8	2,3	1150,6	274,6
2(J)	19,9	4,8	1486,1	1049,4
3(J)	12,3	2,5	966,9	322,3
4(J)	13,8	2,8	860,0	200,6
5(J)	13,1	1,9	986,3	230,0
6(J)	13,9	2,8	977,2	260,1
7(J)	15,9	3,9	982,9	237,4
8(J)	13,3	2,3	1040,6	460,1
9(J)	11,9	2,4	850,0	201,8

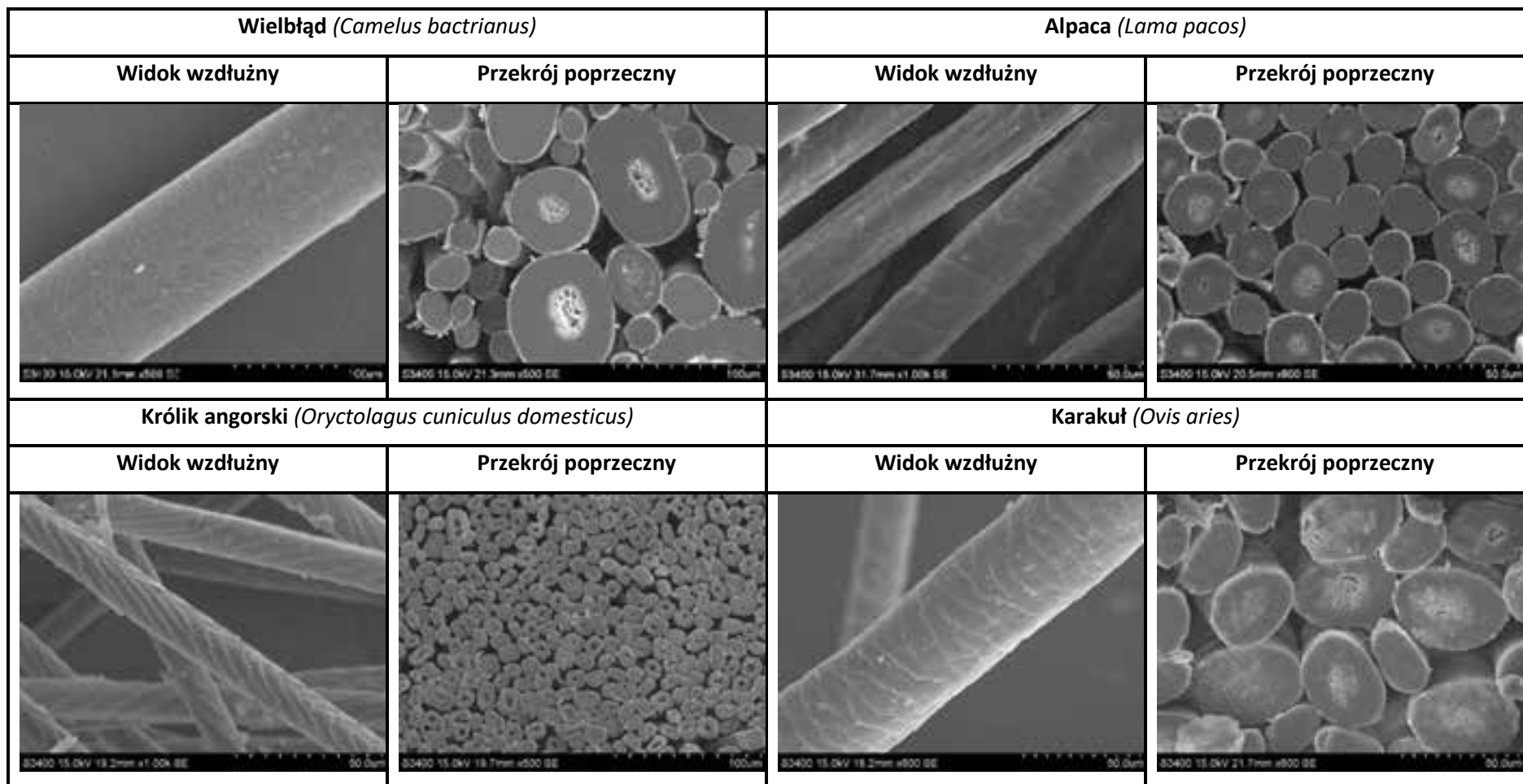
Analizując mikrofotografie widoków wzdłużnych wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J) (Rysunki 46, 47) można zauważyć, że włókna posiadają regularne łuski o lekko pofalowanych, nieregularnych krawędziach. Włókna widoczne w przekroju poprzecznym posiadają typowy dla wełny okrągły kształt. W badanych próbach nie zaobserwowano występowania włókien rdzeniowych.

Morfologia powierzchni włosów dla wszystkich badanych prób jest bardzo do siebie zbliżona. Wyznaczone wartości średnich odległości między krawędziami łusek (Tabela 7) mieszczą się w przedziale 11,9–19,9 μm. Przeprowadzone badania wykazały, że włókna pochodzące od rasy owiec Valaska posiadają największe odległości pomiędzy krawędziami łusek (19,9 μm) co pozwala stwierdzić, że łuski tej rasy są jednocześnie najdłuższe. Włókna pochodzące od rasy owcy Wielkopolskiej wykazały najmniejszą odległość pomiędzy krawędziami łusek (11,9 μm) co pozwala stwierdzić, że łuski włosa tej rasy są jednocześnie najkrótsze. Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 8 μm. Porównując próby wełny pochodzące od tej samej rasy owiec (Czarnogłówka) ale z różnych województw, zaobserwowano nieznaczną różnicę pomiędzy wartościami odległości pomiędzy łuskami. Dla prób wełny pochodzących z województwa małopolskiego wartość ta wynosiła 12,3 μm natomiast dla prób pochodzących z województwa świętokrzyskiego, 13,8 μm. Różnica pomiędzy wartościami wynosi 1,5 μm. W przypadku pozostałych prób pochodzących od ras owiec typowo mięsnych czyli Białogłowej owcy mięsnej, Shropshire oraz Texel wartości te były bardzo do siebie zbliżone i zawierały się w przedziale 13,1–13,9 μm.

Struktura włosa ściśle związana jest z gatunkiem zwierząt od którego włos pochodzi. W celu pokazania różnorodności formy kształtów i struktury włókien w odniesieniu do wełny owczej na rysunku 48 przedstawiłam fotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych włókien zwierzęcych należących do innych wybranych gatunków zwierząt jak wielbłąd, alpaka, królik angorski i karakuł.

Z prowadzonych przeze mnie badań morfologii powierzchni włókien pochodzących od ww. zwierząt wynika, że niewątpliwie cechą wspólną budowy włosa zwierzęcego jest występowanie łusek na całej jego długości. W zależności od gatunku zwierząt łuski przyjmują różne kształty i różne wymiary. W przypadku włókien grubych pochodzących od wielbłąda, łuski są bardzo drobne i bardzo delikatnie zaznaczone na powierzchni włosa, natomiast włókna pochodzące od królika angorskiego posiadają łuski o wyraźnie wydłużonym i szpiczastym kształcie. Włókna alpaki charakteryzują się delikatnie zarysowanymi i dobrze przylegającymi łuskami na całej powierzchni włosa, natomiast karakuł posiada łuski typowe, charakterystyczne dla wełny owczej.

Kształty przekroju poprzecznego potrafią być bardzo zróżnicowane pod względem zajmowanej powierzchni. W większości przypadków we włóknach widoczny jest rdzeń zajmujący mniejszą lub większą powierzchnię pola przekroju poprzecznego włókien. W przypadku królika angorskiego wszystkie włókna są włóknami rdzeniowymi.



Rysunek 48. Mikrofotografie widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych włókien pochodzących od innych zwierząt. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska [116, 121].

5.1.2.2 Ocena średnicy włókien wełnianych

Pomiary średnicy włókien wykonano dla wełny pranej mieszanej (M) i jednolitej (J), przy czym dla prób pochodzących od ras owiec o wełnie mieszanej, próby podzielono na frakcje. W związku z tym, iż aparat Laserscan nie rejestrował wyników powyżej 60 μm , średnice włókien tworzące okrywę zewnętrzną (A) zostały wyznaczone przy pomocy mikroskopu optycznego Nikon Eclipse E400 z oprogramowania NIS-Elements. Wyniki pomiarów zaprezentowano w tabelach 8–10. Na rysunkach 49–54 zaprezentowano przykładowe histogramy rozkładu średnicy włókien dla wybranych prób. Dla prób pochodzących od ras Świniarka oraz Cakiel podhalański (Rysunki 53–54) zaprezentowano histogramy dla włókien wymieszanych (krótkich i długich).

Tabela 8. Wyniki pomiarów średnicy zastępczej włókien tworzących okrywę zewnętrzną (A), prób wełny mieszanej (M). Pomiary wykonane przy pomocy mikroskopu optycznego z oprogramowaniem NIS Elements.

Próba	Średnica zastępcza Eqdia		
	Średnia	SD	CV
	μm	μm	%
1(M)-A	77,4	7,1	9,1
2(M)-A	57,9	6,1	10,5
3(M)-A	62,1	12,9	20,7
4(M)-A	68,0	4,7	6,9
5(M)-A	77,8	11,0	14,1
6(M)-A	75,5	6,6	8,7
7(M)-A	72,8	6,31	8,7
8(M)-A	51,3	5,0	9,7

Tabela 9. Wyniki pomiarów średnicy (MFD) włókien tworzących okrywę wewnętrzną (B), prób wełny mieszanej (M). Pomiary wykonane przy pomocy aparatu Laserscan.

Próba	Średnica		
	Średnia(MFD)	SD	CV
	μm	μm	%
1(M)-B	40,9	12,1	29,6
2(M)-B	32,2	8,6	26,7
3(M)-B	30,4	9,9	32,6
4(M)-B	37,7	11,0	29,2
5(M)-B	38,8	12,6	32,5
6(M)-B	33,6	9,3	27,7
7(M)-B	35,9	11,0	30,8
8(M)-B	27,9	9,0	32,2

Z otrzymanych wyników średnicy zastępczej (Eqdia) dla prób wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), tworzących okrywę zewnętrzną (A) (Tabela 8), wynika, że wartości te mieszczą się w przedziale 51,3–77,8 μm . W tym przypadku najcieńsze były włókna pochodzące od Świniarki, natomiast najgrubsze pochodzące od Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską. Z analizy otrzymanych wyników pomiaru średnicy (MFD) dla prób wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), tworzących okrywę wewnętrzną (B) (Tabela 9) wynika, że wartości te mieszczą się w przedziale 27,9–40,9 μm . Najcieńsze włókna pochodziły od Świniarki, natomiast najgrubsze do Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego.

Tabela 10. Wyniki pomiarów średnicy (MFD) prób wełny pranej pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J). Pomiary wykonane przy pomocy aparatu Laserscan.

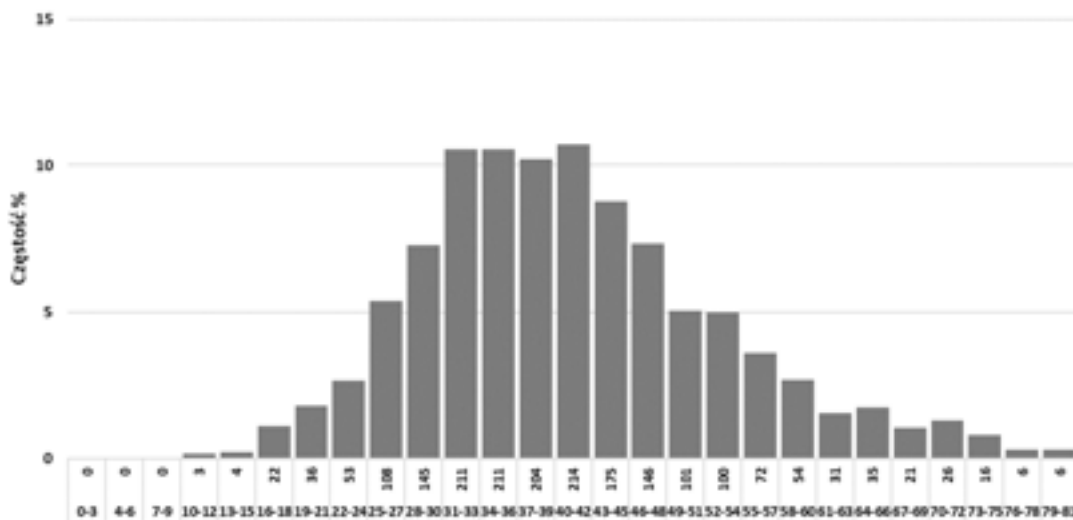
Próba	Średnica		
	Średnia (MFD)	SD	CV
	μm	μm	%
1(J)	39,9	7,2	18,2
2(J)	40,5	9,1	22,4
3(J)	35,2	8,2	23,2
4(J)	34,7	7,2	20,9
5(J)	35,2	6,0	17,1
6(J)	36,1	7,4	20,6
7(J)	38,2	7,9	20,7
8(J)	35,3	9,2	26,1
9(J)	33,2	5,6	16,9

Grubość włókien pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) mieści się w przedziale 33,2–40,5 μm (Tabela 10).

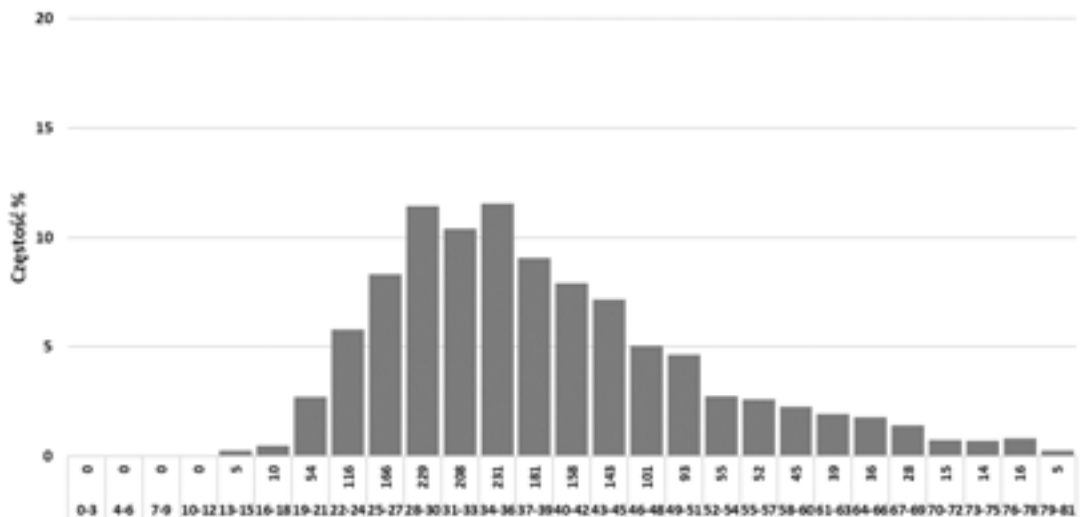
Najcieńsze były włókna pochodzące od rasy Wielkopolskiej, natomiast najgrubsze pochodzące od Valaski.

Zaprezentowane na rysunkach 49–54 wybrane przykłady histogramów rozkładu średnicy włókien dla prób pochodzących z okrywy wewnętrznej (B) od ras owiec

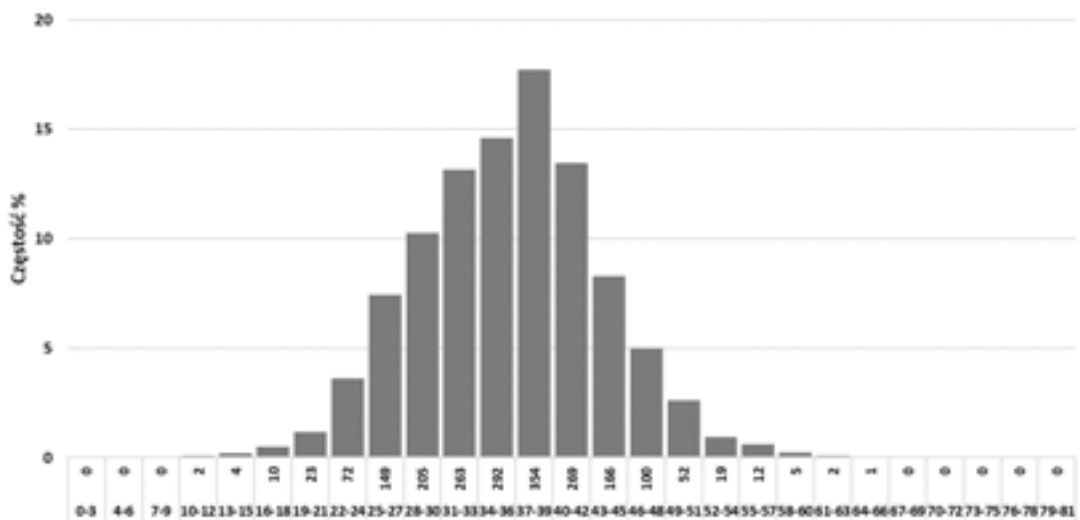
o runie mieszanym (M) oraz o runie jednolitym (J) wskazują, rozkłady zbliżone do rozkładu normalnego. W przypadku włókien wymieszanych składających się zarówno z okrywy zewnętrznej (A) jak i wewnętrznej (B) histogramy posiadają po dwie dominanty.



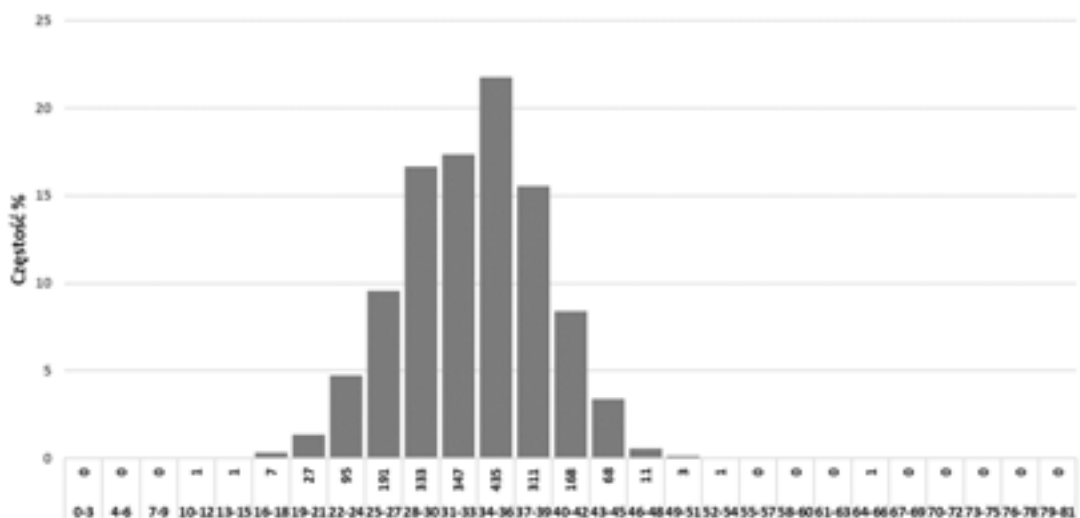
Rysunek 49. Histogram rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę wewnętrzną (B) Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego.



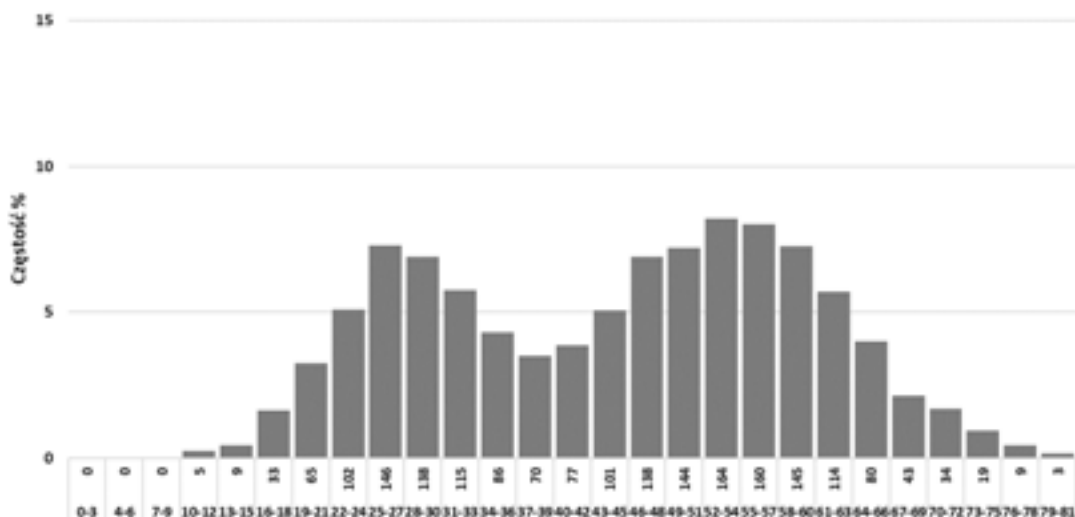
Rysunek 50. Histogram rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę wewnętrzną (B) Polskiej owcy górskiej z krzyżowaną z Valaską.



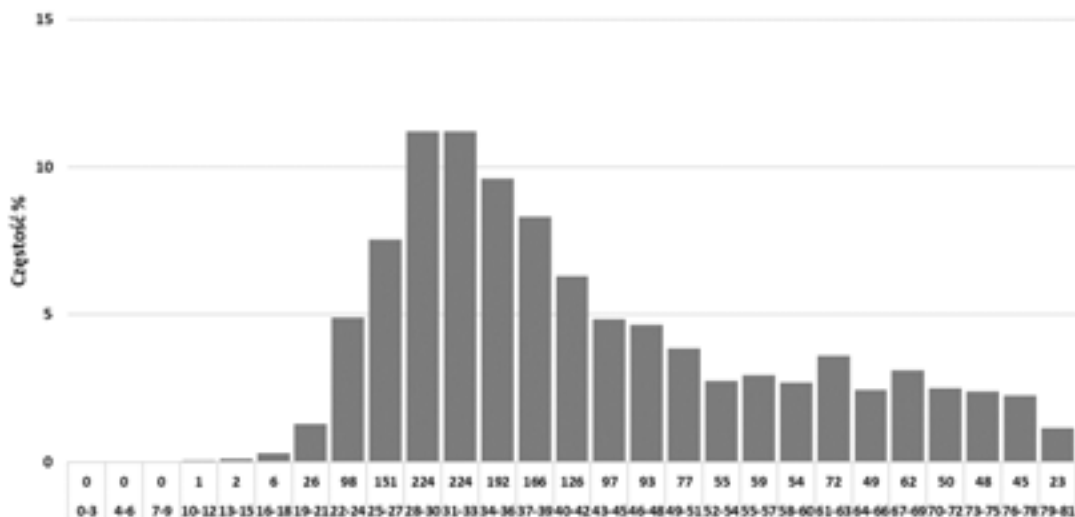
Rysunek 51. Histogram rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę jednolitą rasy Czarnogłówka z województwa świętokrzyskiego.



Rysunek 52. Histogram rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę jednolitą rasy Wielkopolska z województwa świętokrzyskiego.



Rysunek 53. Histogram rozkładu średnicy włókien wymieszanych (okrywa zewnętrzna i wewnętrzna) rasy Świniarka z województwa świętokrzyskiego.



Rysunek 54. Histogram rozkładu średnicy włókien wymieszanych (okrywa zewnętrzna i wewnętrzna) rasy Cakiel podhalański.

Grubość włókna uważana jest za jedną z najważniejszych cech fizycznych wełny. Jest to parametr, który decyduje o prędkości oraz przydatności technologicznej wełny. Z upływem wieku zwierząt grubość wełny wzrasta do ok. 4 roku życia, po czym następuje stopniowe jej pocienianie. Ponadto grubość włosa ma również związek z pcią. Tryki produkują wełnę grubszą w porównaniu z maciorkami. Wg danych literaturowych [21] rozpiętość grubości włókien jest bardzo duża i waha się w granicach od 10 do 80 μm a nawet do 260 μm w przypadku włosów kempowych.

Analizując można ogólnie stwierdzić, że średnica włókien różni się z zależności od typu okrywy - mieszanej lub jednolitej. W przypadku okrywy mieszanej (M) grubość włókien jest różna w zależności od miejsca występowanie okrywy (okrywa zewnętrzna, okrywa wewnętrzna). Ponadto różnice w średnicy włókien występują w zależności od rasy owiec, a także w obrębie tej samej rasy, ale pochodzących z różnych stad. Krzyżowanie pomiędzy rasami również wpływa na

parametry średnicy włókien co wykazano na przykładzie Polskiej owcy górskiej skrzyżowanej z Valaską.

Rozpatrując wartości średnicy zastępczej (Tabela 8) dla prób wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M) tworzących okrywę zewnętrzną (A), stwierdzono, że dla prób pochodzących od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego, Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską, Calka podhalańskiego oraz Cikty wartości średnicy zastępczej szacowały się powyżej 70 μm . Świadczy to o tym, że mamy do czynienia z bardzo grubymi włóknami o ograniczonym zakresie zastosowań w przemyśle włókienniczym. Analizując otrzymane wyniki badań średnicy zastępczej w obrębie tej samej rasy Polskiej owcy górskiej ale z różnych województw wynika, że różnica między wartościami średnicy wynosi aż 19,5 μm . W przypadku badanych prób pochodzących od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z dwóch różnych województw, różnica ta wynosi 5,9 μm . Otrzymane wyniki świadczą o znacznym zróżnicowaniu grubości wełny pomiędzy stadami co potwierdzają również badania charakterystyki grubości wełny u Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej przeprowadzone przez Woźniak i in. [124].

Rozpatrując wartości średnicy (MFD) dla prób pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M) (Tabela 9) tworzących okrywę wewnętrzną (B), stwierdzono, że dla siedmiu z ośmiu badanych prób wartości średnicy (MFD) przekraczały 30 μm , co oznacza, że również w tym przypadku mamy do czynienia z włóknem grubym.

Zaprezentowane na rysunkach 49–52 przykłady histogramów rozkładu średnicy włókien w próbach o runie mieszanym (M) oraz jednolitym (J) przyjmują krzywe zbliżone do krzywej Gaussa. Zaprezentowane przykłady histogramów dla prób Świniarki i Calka podhalańskiego posiadają rozkład dwumodalny z dwiema dominantami.

Przedstawione na rysunkach 49–54 histogramy, dotyczą 2000 pomiarów dla każdej badanej próby, klasy rozmieszczone są co 3 μm . Przedstawione na rysunkach 49–50 przykłady histogramów rozkładu średnicy okrywy wewnętrznej (B) dla Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego oraz Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską pokazują zróżnicowanie wartości średnicy w obrębie badanych prób. Analizując histogram rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę wewnętrzną (B) Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego (Rysunek 49) można zauważyć, że wraz ze wzrostem klasy, udział włókien w danej klasie rośnie, przy czym największa liczność zarejestrowanych wyników na poziomie 214 sztuk, została odnotowana w klasie 40–42 μm i stanowiła ponad 10 % wszystkich pomiarów. Po osiągnięciu tej wartości, liczność zarejestrowanych wyników zaczyna maleć. Histogram jest symetryczny, co świadczy o równomiernym rozkładzie średnic. W przypadku histogramu rozkładu średnicy włókien tworzących okrywę wewnętrzną (B) Polskiej owcy górskiej z krzyżowanej z Valaską (Rysunek 50), największa liczność – 231 została odnotowana w klasie

34–36 μm i stanowiła ok. 12 %. Po osiągnięciu tej wartości, licznosc zarejestrowanych wynikow zaczyna malec.

Rozpatrując wartosci srednicy (MFD) (Tabela 10) dla prób wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J) można wnioskować, że w wielu przypadkach wartosci te są zbliżone do wartosci srednicy (MFD) należących do okrywy wewnętrznej ras owiec o runie mieszanym (M).

Analizując próby pochodzące od tej samej rasy owiec (Czarnogłówka) ale z różnych województw, obserwuje się niewielką różnicę pomiędzy wartościami (MFD). Dla próby pochodzącej od Czarnogłówki ze stada z województwa małopolskiego wartosc ta wynosiła 35,2 μm , a dla próby pochodzącej ze stada z województwa świętokrzyskiego 34,7 μm . W przypadku pozostałych prób pochodzących od ras owiec mięsnych jak Białogłowa owca mięsna, Shropshire, Texel wartosci (MFD) zawierają się w przedziale 35,2–38,2 μm , różnica pomiędzy wartościami wynosi 3 μm .

Analizując histogram rozkładu srednicy włókien tworzących okrywę jednolitą rasy Czarnogłówka z województwa świętokrzyskiego (Rysunek 51), można stwierdzić, że wraz ze wzrostem klas, udział włókien w klasie rośnie, przy czym największa licznosc zarejestrowanych wynikow na poziomie 354, została odnotowana w klasie 37–39 μm . Po osiągnięciu tej wartosci, licznosc zarejestrowanych wynikow zaczyna stopniowo malec. Histogram przyjmuje kształt zbliżony do krzywej Gaussa.

Analizując histogram rozkładu srednicy włókien tworzących okrywę jednolitą rasy Wielkopolska z województwa świętokrzyskiego (Rysunek 52) można stwierdzić, że ze wzrostem klas, udział zbadanych włókien w klasie rośnie, przy czym dominantę zarejestrowano na poziomie 435 pomiarów w klasie odpowiadającej 34–36 μm . Po osiągnięciu tej wartosci, licznosc zarejestrowanych wynikow zaczyna malec. Histogram przyjmuje kształt zbliżony do krzywej Gaussa.

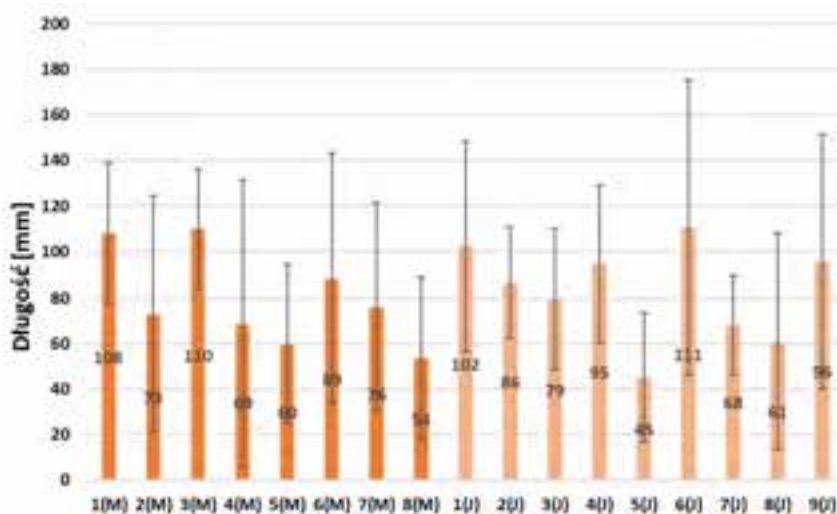
Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają zróżnicowanie w wartościach srednic włókna w zależności od rasy owiec oraz miejsca hodowli.

Analizując histogramy rozkładu srednicy włókien wymieszanych składających się z okrywy zewnętrznej oraz wewnętrznej dla rasy Świniarka oraz Cakła podhalańskiego (Rysunki 53–54) można zauważyć, że histogramy posiadają po dwie dominanty, co uzasadnia konieczność wyznaczania srednicy osobno dla włókien okrywy zewnętrznej (A) oraz wewnętrznej (B). W przypadku próby pochodzącej od rasy Świniarka dominanta pierwsza znajduje się w przedziale 25–27 μm – 146, druga w przedziale 52–54 μm – 164. W przypadku włókien wymieszanych pochodzących od Cakła podhalańskiego dominanta pierwsza znajduje się w przedziałach 28–30 μm oraz 31–33 μm – 224, druga w przedziale 61–63 μm – 72. Zaprezentowany histogram wyraźnie wskazuje na zarejestrowanie przez aparat LaserScan głównie wynikow pomiarów

pochodzących od okrywy wewnętrznej (B) co z kolei uzasadnia zarówno konieczność podziału włókien na okrywę zewnętrzną jak i wewnętrzną, a także konieczność doboru innej metody badawczej niż przy pomocy aparatu LaserScan, pozwalającej na rejestrację pomiarów powyżej 60 μm , co zostało wykonane w pracy.

5.1.2.3 Ocena długości włókien wełnianych

Wyniki pomiarów długości włókien wełnianych zaprezentowano na rysunku 55.



Rysunek 55. Długość włókien wełny, [mm].

W przypadku prób pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M) najdłuższe były włókna pochodzące od Polskiej owcy górskiej oraz Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego (110 mm), natomiast najkrótsze pochodzące od Świniarki (54 mm). W przypadku prób pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) najdłuższe były włókna pochodzące od rasy Shropshire (111 mm) natomiast najkrótsze od Białogłowej owcy mięsnej (45 mm).

Badana w ramach pracy długość wełny to długość rzeczywista, czyli długość mierzona na rozprostowanych włosach, pozbawionych karbikowatości bądź sfalowania. W związku z tym, iż w procesie produkcji mat wykorzystano surowiec wymieszany (włókna okrywy zewnętrznej i okrywy wewnętrznej) pomiaru długości dokonano bez podziału na włókna pochodzące z okrywy zewnętrznej i wewnętrznej.

Analizując, można stwierdzić, że zarówno dla wełny pochodzącej od ras owiec o wełnie mieszanej (M) jak i o wełnie jednolitej (J) długości włókien są bardzo zróżnicowane o czym również świadczą bardzo wysokie wartości odchylenia standardowego. Należy również zaznaczyć, że część owiec posiadających runo mieszane (M) jest strzyżona raz lub dwa razy do

roku, natomiast owce o runie jednolitym (J) są strzyżone raz w roku co ma również wpływ na otrzymane wartości długości.

Analizując wyniki pomiarów długości włókien pochodzących ze stad Polskiej owcy górskiej hodowanej w dwóch różnych województwach, gdzie stosuje się różną częstotliwość strzyży, zauważono wyraźne różnice w długości wełny. W przypadku próby pochodzącej od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego, gdzie strzyża owiec odbywa się dwa razy do roku średnia długość włókien jest o 35 mm dłuższa, niż w przypadku próby tej samej rasy, ale pochodzącej ze stada z województwa małopolskiego, gdzie strzyża owiec odbywa się raz w roku (Tabela 5). Podobną zależność obserwuje się dla prób pochodzących od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z różnych województw. W przypadku próby pochodzącej ze stada z województwa śląskiego, gdzie strzyża owiec odbywa się dwa razy do roku, średnia długość włókien jest o 41 mm dłuższa, niż w przypadku próby pochodzącej z województwa małopolskiego, gdzie strzyża owiec odbywa się raz w roku. Wełna pochodząca od Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valską okazała się jedną z najkrótszych (60 mm), przy czym dla rasy Valaska średnia długość wełny wynosi 86 mm, a dla Polskiej owcy górskiej z rocznej strzyży ok. 73 mm.

Analizując długości włókien pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) większość prób osiąga wartości powyżej 60 mm. W przypadku prób pochodzących od rasy owiec Czarnogłówka, ale z różnych województw można stwierdzić, że wełna pochodząca z województwa świętokrzyskiego była dłuższa od wełny pochodzącej z województwa małopolskiego o 16 mm.

Wg danych literaturowych [24] długość włókien wełny zależy od kilku czynników np. od rasy owcy, jej wieku oraz płci. Nawet u owiec tej samej rasy występują znaczne różnice długości co wykazano w pracy.

Długość wełny zależy od rasy owiec oraz od częstotliwości strzyży, z której wynika długość okresu odrostu. Długość włókna obok grubości jest parametrem decydującym o wartości technologicznej wełny, gdyż determinuje sposób jej przerobu na przędze. Np. przędzenie czesankowe wymaga wełny cienkiej i długiej. W tym przypadku długość włókien powinna wynosić ok. 5–6 cm. W przypadku przędzenia półczesankowego, które dotyczy przerobu wełen grubszych i długich, wymagana długość włókien to 10–15 cm. W przędzeniu zgrzebnym zalecana długość włókien to 4–7 cm [21].

5.1.2.4 Ocena higroskopijności wełny owczej badanej w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza

Wyniki pomiarów higroskopijności zaprezentowano na rysunkach 56–57.



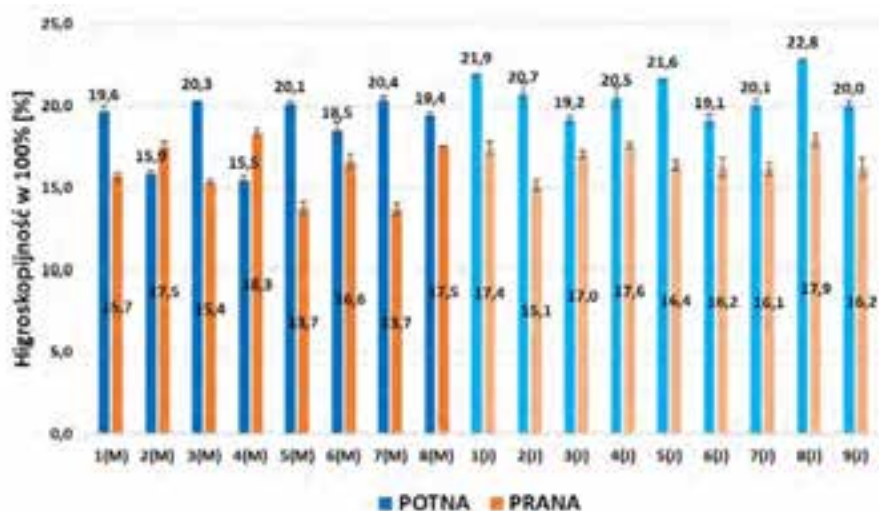
Rysunek 56. Higroskopijność badana w warunkach 65% wilgotności względnej powietrza dla wełny potnej oraz pranej, [%].

W przypadku wełny potnej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), wartości higroskopijności w warunkach 65% wilgotności względnej powietrza mieszczą się w zakresie 14,1–19,4 %. Największą zdolność pochłaniania wilgoci w ww. warunkach posiada wełna pochodząca od rasy Cikta. Runo pochodzące od Polskiej owcy górskiej z województwa małopolskiego wykazuje najniższą zdolność pochłaniania wilgoci w ww. warunkach.

W przypadku prób wełny pranej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), wartości higroskopijności w warunkach 65% wilgotności względnej powietrza mieszczą się w zakresie 13,0–15,2 %. Najwięcej wilgoci w wymienionych warunkach pochłania wełna pochodząca od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego, natomiast najmniej wełna pochodząca od ras Cikta i Świniarka.

W przypadku prób wełny potnej pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J), wartości higroskopijności w warunkach 65% wilgotności względnej powietrza mieszczą się w zakresie 13,1–20,6 %. Najwięcej wilgoci w wymienionych warunkach pochłania wełna pochodząca od Polskiej owcy pogórza, natomiast najmniej wełna pochodząca od rasy Shropshire.

W przypadku prób wełny pranej pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J), wartości w higroskopijności ww. warunkach mieszczą się w zakresie 12,9–15,4 %, przy czym najwięcej wilgoci pochłonęła wełna pochodząca od Czarnogłówki z województwa małopolskiego, natomiast najmniej wełna pochodząca od rasy Texel.



Rysunek 57. Higroskopijność badana w warunkach 100% wilgotności względnej powietrza dla wełny potnej oraz pranej, [%].

W przypadku wełny potnej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), wartości higroskopijności w warunkach 100 % wilgotności względnej powietrza mieszczą się w zakresie 15,5–20,4 %. Największą zdolność pochłaniania wilgoci w ww. warunkach posiada wełna pochodząca od rasy Cikta. Runo pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego wykazuje najniższą zdolność pochłaniania wilgoci w ww. warunkach.

W przypadku prób wełny pranej pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), wartości higroskopijności w ww. warunkach mieszczą się w zakresie 13,7–18,3 %. Najwięcej wilgoci pochłonęła wełna pochodząca od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego, natomiast najmniej wełna pochodząca od ras Polska owca górską (krzyżówka z Valaską) oraz Cikta.

W przypadku prób wełny potnej pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J), wartości higroskopijności w ww. warunkach mieszczą się w zakresie 19,1–22,8 %. W tym przypadku najwięcej wilgoci pochłonęła wełna pochodząca od Świniarki natomiast najmniej od Cakła podhalańskiego.

W przypadku prób wełny pranej pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J), wartości te mieszczą się w zakresie 15,1–17,9 %, przy czym najwięcej wilgoci pochłonęła wełna pochodząca od Polskiej owcy nizinnej, natomiast najmniej od Valaski.

Analizując wyniki badań higroskopijności można wywnioskować, że w warunkach 65 % wilgotności względnej powietrza (Rysunek 56) wełna potna pochodząca od ras owiec o runie mieszanym (M) i jednolitym (J), pochłania więcej wilgoci niż wełna prana.

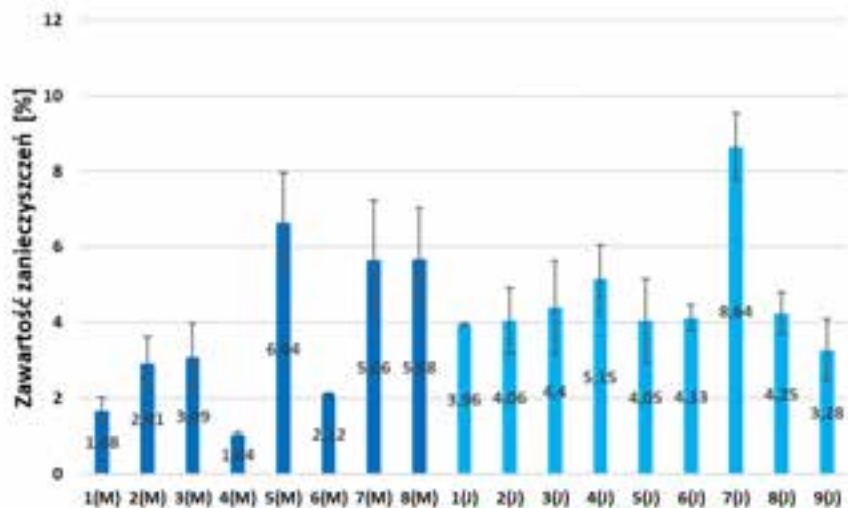
W warunkach 100 % wilgotności względnej powietrza (Rysunek 57), próby wełny potnej pochodzące od ras owiec o runie mieszanym (M), w większości przypadków pochłonęły więcej

wilgoci niż wełna prana. Wyjątek stanowią próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej oraz Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego, dla których odnotowano odwrotną zależność. Obie próby pochodziły od owiec z tego samego stada.

Wełna owcza posiada zdolność do wchłaniania i utrzymywania w sobie dużej ilości wilgoci. O higroskopijności wełny decyduje budowa cząsteczkowa, nadcząsteczkowa i anatomiczna włókna (występowanie we włóknie mikropilarnych szczelin, otworów, pęknięć itp.). Zdolności sorpcyjne wełny związane są także z obecnością w chemicznej budowie włókna aminokwasów wyposażonych w grupy funkcyjne zdolne do przyłączania cząsteczek wody. Występowanie rdzenia we włóknach zwiększa ich zdolność do zatrzymywania wody. Zawartość wilgoci w wełnie ulega zmianie wraz ze zmianą wilgotności względnej powietrza. Absorbowanie przez wełnę wilgoci z otoczenia odbywa się stopniowo. Wełna potna wolniej wchłania wilgoć z otoczenia, ponieważ otoczka tłuszczopotu utrudnia przenikanie wody w przestrzenie międzykomórkowe, co jest potwierdzone w doniesieniach literaturowych [24]. Wełna prana, pozbawiona substancji tłuszczowych, przyswaja wilgoć o wiele łatwiej. Zjawisko absorbowania wody przez wełnę jest odwracalne, w warunkach o niskiej wilgotności względnej powietrza następuje zjawisko desorpcji, woda związana z włóknem jest wydzielana w postaci pary [21]. Wg danych literaturowych [20] wartości sorpcyjne wełny pranej kształtują się w granicach 13,6–15,0 % co potwierdzają otrzymane wartości badane w warunkach 65 % wilgotności względnej (Rysunek 56).

5.1.2.5 Oznaczenie zawartości zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego

Wyniki pomiarów zawartości zanieczyszczeń zaprezentowano na rysunku 58. Na rysunku 59 przedstawiono przykład pozostałości w postaci zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego dla próby pochodzącej od Białogłowej owcy mięsnej.



Rysunek 58. Zawartość zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego w wełnie potnej, [%].

W przypadku prób wełny pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M), zawartość zanieczyszczeń mieści się w zakresie 1,04–6,64 %. Największa zawartość zanieczyszczeń występuje w próbce pochodzącej od Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską, natomiast najmniej zanieczyszczona jest runo Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego.

Dla prób wełny pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J), zawartość zanieczyszczeń mieści się w przedziale 3,28–8,64 %. Największa zawartość zanieczyszczeń występuje w próbce pochodzącej od rasy Texel, natomiast najmniej zanieczyszczona jest próba od rasy Wielkopolskiej.



Rysunek 59. Fotografia roślinnych i innych zanieczyszczeń w wełnie potnej nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego pochodzących z runa Białogłowej owcy mięsnej. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Wartości zawartości zanieczyszczeń roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego w wełnie potnej, pokazują

zróżnicowaną zawartość zanieczyszczeń występujących w runie pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M).

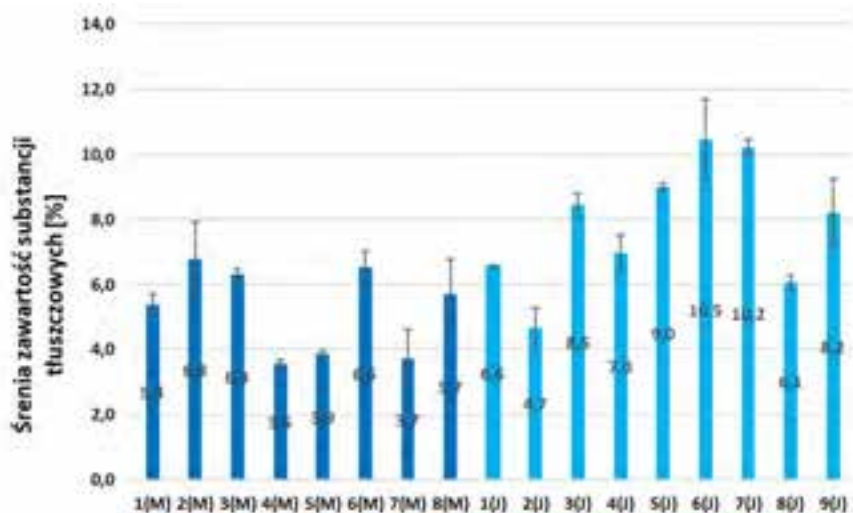
Rozpatrując wyniki badań dla prób pochodzących z tego samego stada, ale od różnych ras owiec czyli Polskiej owcy górskiej oraz Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego, można stwierdzić, że w próbie pochodzącej od owcy barwnej występuje niemalże 2 razy więcej zanieczyszczeń, a procentowa różnica zawartości zanieczyszczeń dla tych prób wynosi ok. 1,41 %. Dla Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego i małopolskiego różnica ta wynosi 2,05 %. Wg danych literaturowych zawartość zanieczyszczeń w wełnie potnej zależy od warunków hodowli oraz ras owiec, co potwierdzają przeprowadzone w ramach pracy badania. Próby pochodzące od owiec z tego samego stada (Cikta oraz Polska owca górskiej krzyżowana z Valaską) wykazały największą ilość zanieczyszczeń co sugeruje, że związane jest to z warunkami hodowli. Owce te hodowane są w tradycyjnej gospodarce pasterskiej. Wypas letni odbywa się na łąkach terenu Beskidu Sądeckiego, gdzie owce żywią się użytkami zielonymi.

Mniej zróżnicowane wartości zawartość roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego wykazują próby pochodzące od ras owiec o runie jednolitym (J). Analizując można przyjąć, że dla sześciu z dziewięciu badanych prób wartości te szacują na poziomie ok. 4 %. W przypadku prób pochodzących od Białogłowej owcy mięsnej oraz rasy Shropshire zawartość zanieczyszczeń jest na podobnym poziomie. Owce te pochodzą z tego samego stada, dla którego wypas letni odbywa się na użytkach zielonych terenów podgórskich natomiast zimą owce spędzają w owczarni i karmione są paszami objętościowymi. Analizując można stwierdzić, że zawartość zanieczyszczeń w wełnie potnej zależy od środowiska bytowania/hodowli owiec, rasy owiec oraz warunków w jakich odbywa się strzyżenie.

Różnorodność zanieczyszczeń wełny potnej została precyzyjnie w normie PN-P-04930/10:90, która podaje, że: „do zanieczyszczeń roślinnych występujących w wełnie zaliczane są trawy, nasiona szczątki roślin duże nasiona (kolki łopianów), spiralne rzepienie, natomiast do zanieczyszczeń innych nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego zaliczane są kawałki skóry, sznurek, papier, wapno”. Większość różnego typu zanieczyszczeń usuwanych jest w procesie prania.

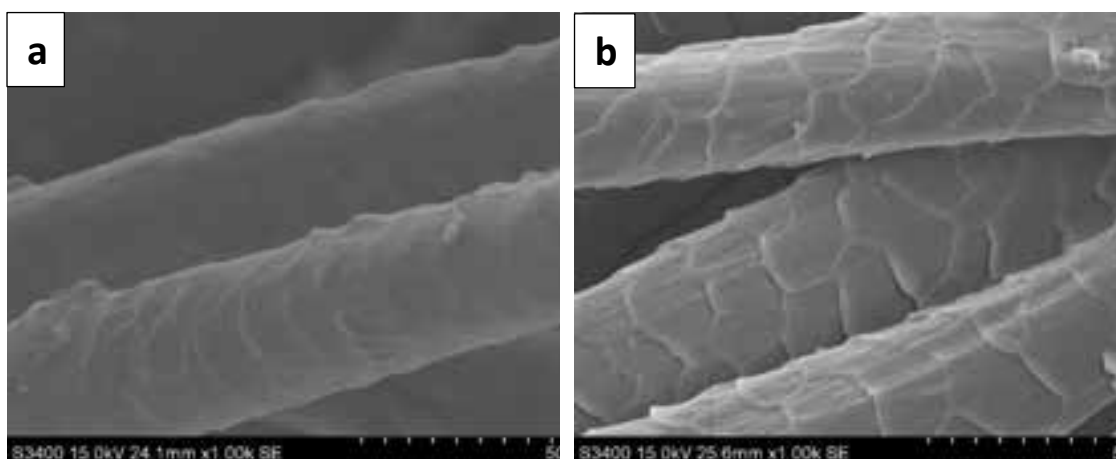
5.1.2.6 Oznaczanie zawartości substancji tłuszczowych w wełnie potnej

Wyniki pomiarów zawartości substancji tłuszczowych zaprezentowano na rysunku 60. Na rysunku 61 zaprezentowano przykład widocznych substancji tłuszczowych w wełnie potnej. Fotografie przedstawiają widok wzdłużny wełny potnej i pranej pochodzącej od rasy Texel.



Rysunek 60. Zawartość substancji tłuszczowych w wełnie potnej, [%].

Dla prób wełny pochodzącej od ras owiec o runie mieszanym (M), średnia zawartość substancji tłuszczowych mieści się w przedziale 3,7–6,8 %. Najwięcej substancji tłuszczowych w runie posiada próba pochodząca od Polskiej owcy górskiej z województwa małopolskiego natomiast najmniej próba pochodząca od rasy Cikta. Dla prób pochodzących od ras owiec o wełnie jednolitej (J) średnia zawartość substancji tłuszczowych mieści się w przedziale 4,7–10,5 %. Najwięcej substancji tłuszczowych wykazała próba pochodząca od rasy Shropshire, natomiast najmniej próba pochodząca od Valaski.



Rysunek 61. Mikrofotografie widoku wzdłużnego wełny potnej (a) i pranej (b) pochodzącej od rasy Texel. Źródło: Prace własne. Fot. A. Kicińska-Jakubowska.

Porównując fotografie wełny owczej potnej (a) oraz wełny pranej (b) (Rysunek 61) wyraźnie widać, że łuski w przypadku wełny potnej są zakryte przez tłuszczopot. Ich zarys jest w niewielkim stopniu widoczny. W przypadku wełny pranej, gdzie tłuszczopot został usunięty wyraźnie widać kształt i strukturę łusek.

Analizując można stwierdzić, że próby pochodzące od ras owiec o runie jednolitym (J) charakteryzują się wyższą zawartością substancji tłuszczowych w porównaniu z próbami pochodzącymi od ras owiec o wełnie mieszanej (M), (Rysunek 60).

Spośród analizowanych prób pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M) trzy próby wykazały wartości substancji tłuszczowych bliskie 4 %. Są to próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa małopolskiego, Polskiej owcy górskiej krzyżowanej z Valaską oraz Cikty. Najwięcej substancji tłuszczowych, ponad 6% posiadały od Polskiej owcy górskiej z województwa małopolskiego, Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego oraz Cakła podhalańskiego.

W przypadku prób pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) wszystkie próby za wyjątkiem Valaski, wykazały zawartość substancji tłuszczowych powyżej 6 %. Runo typowych ras mięsnych Shropshire, Texel, Białogłowej owcy mięsnej oraz Czarnogłówki wykazują największą zawartość substancji tłuszczowych w runie w porównaniu z pozostałymi rasami o runie jednolitym (J). Zawartość substancji tłuszczowych dla tych ras szacuje się w przedziale 7,0–10,5 %. Zmierzona zawartość tłuszczopotu zarówno dla ras owiec o wełnie mieszanej (M) jak i jednolitej (J) jest większa od zawartości tłuszczopotu zmierzonego dla wełny karakułowej, jest także mniejsza od zawartości tłuszczopotu zmierzonego dla rasy Merynos polski, których wartości wg danych literaturowych szacują się odpowiednio na poziomie 2,35 % oraz 14,33 % [21].

Wartości udziału tłuszczopotu dla ras owiec hodowanych w innych rejonach Polski niż tereny górskie i podgórskie wynoszą, dla Owcy pomorskiej 3,11–4,12 %, dla Owca fryzyjskiej 6,25–8,30 % [21], natomiast przeprowadzone przez mnie badania w ramach innych ras występujących na terenie Polski wykazały zawartość tłuszczopotu dla Owcy żelaźnieńskiej na poziomie 10,72 %, Owcy olkuskiej 9,65 %, Polskiej owcy nizinnej z terenów wielkopolski 9,36 %, oraz Merynosa polskiego z terenów wielkopolski 13,35 %.

Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość tłuszczopotu w wełnie jest ściśle powiązana z rasą owiec. Ponadto wg danych literaturowych różnice zawartości substancji tłuszczowych w wełnie dotyczą również płci, wełna tryków jest bardziej natłuszczona niż wełna macioerek a natłuszczenie wełny zwiększa się także z wiekiem zwierzęcia [21].

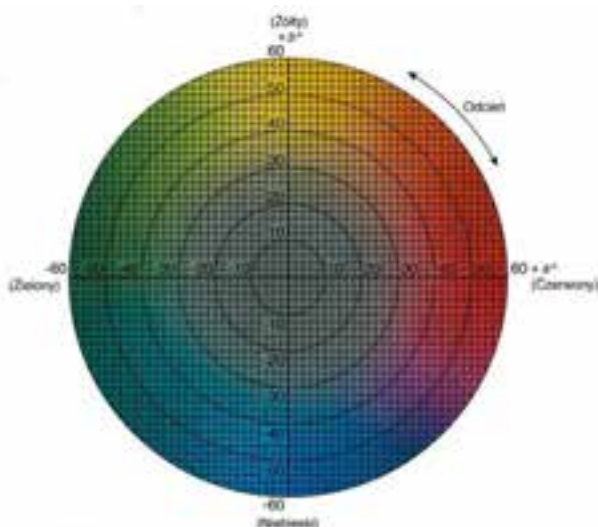
5.1.2.7 Ocena koloru wełny

Wyniki kolometrycznej oceny parametrów koloru wełny zaprezentowano w tabeli 11. Na rysunku 62 zaprezentowano koło barw, zgodnie z którym interpretowano pomiary. W związku z tym, iż próba numer 3 pochodząca od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego posiadała bardzo zróżnicowaną wełnę pod względem kolorystycznym, próby podzielono na włókna ciemne i oznaczono symbolem 3(M) C oraz na włókna jasne i oznaczono symbolem 3(M) J.

Tabela 11. Parametry barwy wełny owczej pranej pochodzącej z różnych ras owiec, badane przy pomocy kolorymetru Konica Minolta cr-400.

OKRYWA MIESZANA									
Parametr	1(M)	2(M)	3(M)		4(M)	5(M)	6(M)	7(M)	8(M)
			C	J					
L*	85,12	87,74	18,46	77,71	19,14	83,03	82,16	79,09	81,10
a*	-0,24	-0,51	1,85	-0,01	0,84	0,29	-0,66	0,35	0,27
b*	10,05	9,02	-2,61	20,20	-4,74	15,07	15,02	19,25	10,40
OKRYWA JEDNOLITA									
Parametr	1(J)	2(J)	3(J)	4(J)	5(J)	6(J)	7(J)	8(J)	9(J)
L*	82,75	80,26	77,39	75,77	75,71	79,60	82,83	76,38	79,83
a*	-0,06	-0,08	0,16	1,19	0,72	0,12	-0,06	0,64	-0,16
b*	15,51	15,52	12,86	11,47	9,93	15,29	10,05	18,10	18,88

C - włókna ciemne, J - włókna jasne



Rysunek 62. Wykres a*b* (koło barw, odcień i nasycenie) [115].

W przypadku prób pochodzących od ras owiec o runie mieszanym (M), uzyskano wartości współrzędnych: L* w zakresie 18,46 – 87,74; a* w zakresie -0,66 – 1,85; b* w zakresie -4,74 – 20,20. W przypadku prób pochodzących od ras owiec o runie jednolitym (J) uzyskano wartości współrzędnych: L* w zakresie 75,71– 82,83; a* w zakresie -0,16 – 1,19; b* w zakresie 9,93 – 18,88.

Najniższe wartości współrzędnej L* wykazały próby pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z dwóch różnych województw, L* = 18,46 oraz L* = 19,14. Oko ludzkie

szczególnie w przypadku próby pochodzącej ze stada z województwa małopolskiego, postrzega kolor jako intensywnie czarny (Rysunek 34), jednak przeprowadzone badanie nie wykazało koloru jako czysta czerń (wartość L^* dla czystej czerni = 0). Wartości dodatnich współrzędnych a^* w obu przypadkach wskazują na nasycenie prób kolorem czerwonym. Wartości ujemne współrzędnych b^* , na nasycenie kolorem niebieskim. Analizując kolor okrywy mieszanej (M), można stwierdzić, że Polska owca górska posiada wełnę najjaśniejszą spośród wszystkich badanych prób. Najbardziej intensywnym kolorem kremowym charakteryzowało się runo jasne pochodzące od Polskiej owcy górskiej odmiany barwnej z województwa śląskiego.

Analizując wyniki intensywności barwy wełny pochodzącej od ras owiec o runie jednolitym (J) należy podkreślić, że większość z prób osiągnęła wartość L^* poniżej 80. Porównując wyniki wskaźnika L^* w obrębie danej rasy dla prób pochodzących od Czarnogłówki z województw małopolskiego oraz świętokrzyskiego można stwierdzić, że intensywność barwy runa w obu przypadkach jest niemalże na takim samym poziomie. Próby wełny pochodzące od Polskiej owcy pogórza oraz rasy Texel posiadają najwyższe wartości wskaźnika L^* =82,75 i 82,83 co oznacza, że ich kolor jest najbliższy białemu. W obu przypadkach wykazano delikatne nasilenie kolorem zielonym (ujemna wartość a^*) oraz duże nasycenie kolorem żółtym (dodatnia wartość b^*).

Badania intensywności bieli/stopnia jasności przeprowadzone przez Kuleszę i in. [125] tą samą metodą na wełnie pochodzącej od innych ras owiec hodowanych w Polsce niż ujęte w pracy, wykazały wskaźnik L^* = 82,46 dla rasy Żelaźnieńskiej oraz L^* = 79,16 dla rasy Corriedale, co pozwala potwierdzić, że w Polsce nie występują rasy o runie śnieżnobiałej bieli. Występowanie owiec o zabarwieniu runa w odcieniu kremowym jest typowe dla naszych warunków klimatycznych.

U owiec spotyka się wiele odmian umaszczenia, począwszy od czarnego poprzez różne odcienie brunatnego i szarego aż do białego. Barwa włosów uwarunkowana jest występowaniem dwóch klas ziaren pigmentu: melaniny – we włosach czarnych i feomelaniny – we włosach jasnych. Natomiast intensywność barwy zależna jest od liczby ziaren pigmentu. Barwa wełny może być barwą naturalną bądź nabytą, np. w efekcie zróżnicowanego żywienia i utrzymania owiec [85, 25].

Ze względu na barwę, wełny dzielimy na:

- białe, które osiągają odcienie od śnieżnego do mocno kremowego,
- kolorowe, gdzie wszystkie włosy są kolorowe, bądź tylko ich część jest kolorowa.

Rzeczywista barwa wełny ujawnia się dopiero po wypraniu, w stanie potnym nie jest dokładnie widoczna bądź może być zmieniona przez tłuszczopót lub znajdujące się w runie zanieczyszczenia [21].

5.2 Włókna łykowe

5.2.1 Wyniki badań włókien łykowych

Wyniki badań zaprezentowano w tabeli 12 oraz na rysunku 63.

Tabela 12. Parametry włókien wchodzących w skład odpadów lnianych i konopnych oraz mieszanki tych włókien.

Surowiec	Długość włókna	Masa liniowa	SD	Zawartość zanieczyszczeń	Siła zrywająca	SD	CV	Wydłużenie	SD	CV	Wytrzymałość właściwa
	mm	tex	tex	%	N	N	%	%	%	%	cN/tex
L*	77	0,5	0,16	47	29,20	2,03	6,97	15,96	1,29	8,09	14,13
K*	70	0,9	0,21	55	26,31	4,01	15,25	16,71	0,59	3,54	12,60
L+K*	69	-*	-*	18	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*

L* - odpady lniane, K* - odpady konopne, L+K* - mieszanka odpadów lnianych i konopnych uzyskana podczas przerobu na urządzeniu RCz 120-3, -* oznacza brak możliwości wykonania badania

5.2.1.1 Długość

Średnia długość włókien odpadowych lnu wynosi 77 mm natomiast konopi 70 mm (Tabela 12). Średnia długość mieszanki włókien lnu i konopi, otrzymanej w wyniku przerobu na urządzeniu RCz 120-3 wynosi 69 mm.

5.2.1.2 Masa liniowa

Średnia masa liniowa włókien odpadowych lnu szacuje się na poziomie 0,5 tex, natomiast konopi na poziomie 0,9 tex (Tabela 12). W przypadku włókien łykowych masa liniowa poniżej 1 tex, wskazuje na bardzo dobre podzielenie tasiemek włókien.

5.2.1.3 Zawartość zanieczyszczeń

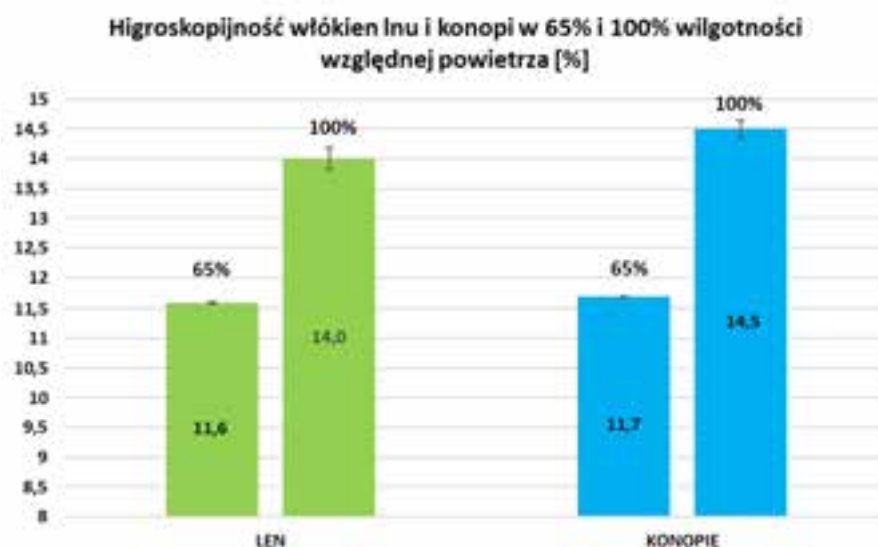
Zarówno włókna lnu jak i konopi charakteryzowały się bardzo wysoką zawartością zanieczyszczeń (Tabela 12), które w głównej mierze stanowiły, paździerz, szypułki i fragmenty roślin łykowych. Zawartość zanieczyszczeń dla włókien lnu wynosiła 47 %, dla konopi 55 %.

Mieszanka włókien lnianych i konopnych posiada zdecydowanie mniejszą zawartość zanieczyszczeń na poziomie 18 %.

5.2.1.4 Siła zrywająca i wydłużenie

Wartość siły zrywającej (Tabela 12) dla włókien lnianych wynosiła 29,20 N przy wydłużeniu 15,96 %, natomiast wytrzymałość właściwa została oszacowana na poziomie 14,13 cN/tex. Włókna konopne wykazały niższą siłę zrywającą na poziomie 26,31 N przy wydłużeniu 16,71 %, oszacowana wytrzymałość właściwa wynosi 12,60 cN/tex.

5.2.1.5 Ocena higroskopijności włókien tykowych badanych w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza



Rysunek 63. Higroskopijność włókien lnu i konopi badana w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza, [%].

Wyniki higroskopijności włókien badanych w warunkach 65 % i 100 % wilgotności względnej powietrza wskazują na to, że len i konopie posiadają podobną zdolność do absorbowania wilgoci z otoczenia przy tej samej wilgotności względnej powietrza.

Średnia długość włókien odpadowych wynosi 77 mm dla lnu i 70 mm dla konopi. Średnia masa liniowa wynosi 0,5 tex dla lnu i 0,9 tex dla konopi. Wyniki wskazują na skuteczne podzielenie tasiemek włókien jednopostaciowych podczas procesu zgrzeblenia na mniejsze kompleksy włókien. Proces zgrzeblenia spowodował skrócenie włókien oraz zdecydowanie wpłynął na wzdłużne dzielenie kompleksów włókien wskutek częściowego niszczenia płytek środkowych oraz połączeń wzdłużnych pęczków [65].

W wyniku przeprowadzonego procesu skracania i doczyszczania włókien odpadowych na urządzeniu RCz 120-3 otrzymano znaczną redukcję zanieczyszczeń do poziomu 18 %, a także skrócenie włókien do 69 mm. Włókna lnu i konopi zostały pobrane do badań z masy włókien zasilającej zgrzeblarkę (Tabela 12), natomiast odstąpiono od badań parametrów włókien po ich wymieszaniu ze względu na niejednorodność i przypadkowość występowania włókien w mieszance.

W związku z tym, iż na potrzeby pracy doktorskiej wykorzystane do produkcji mat włókna łykowe, to włókna odpadowe, które zostały usunięte przez maszyny na etapie zgrzeblenia w czasie produkcji sznurków lnianych lub konopnych (Rysunek 16) posiadają inne parametry niż włókno dekortykowane.

Długość włókien łykowych pozyskanych w procesie dekortykacji zawiera się w przedziale 246–255 mm, średnia masa liniowa wynosi 150–155 tex, zawartość zanieczyszczeń 31–57 % natomiast właściwości wytrzymałościowe mieszczą się w zakresie 8,5–23,5 cN/tex [45, 117].

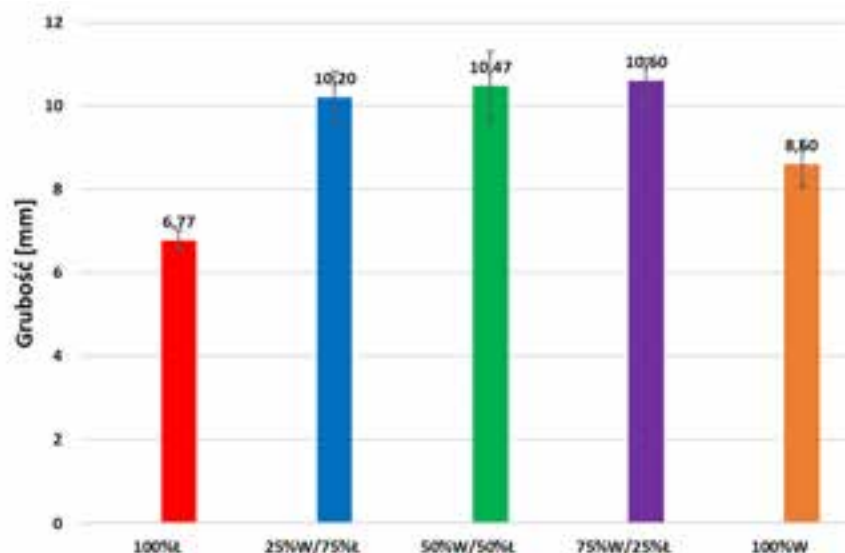
Analiza statystyczna wyników higroskopijności włókien lnianych i konopnych przeprowadzona przy pomocy testu t-Studenta ($\alpha=0,05$) nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wynikami dla 65% i 100% wilgotności względnej powietrza. Dla 100% wilgotności względnej powietrza, w przypadku konopi otrzymano wartość większą zaledwie o 0,5% w porównaniu z lnem. Wysokie wartości higroskopijności badanych włókien wynikają z faktu, że włókno lnu i konopi wydobyte z łądyg w procesie mechanicznej dekortykacji wykazuje wyższą zdolność pochłaniania wilgoci w porównaniu z włóknami wydobytymi z łądyg z wykorzystaniem roszenia wodnego i siania [118]. Włókna łykowe wykazują wysoką zdolność pochłaniania wilgoci z otoczenia a ilość wilgoci pochłanianej przez włókna łykowe zależy od wilgotności względnej otoczenia [35].

5.3 Maty

5.3.1 Wyniki badań fizyko-mechanicznych wytworzonych mat

5.3.1.1 Grubość

Wyniki badań grubości mat wytworzonych z włókien łykowych, mieszanek włókien łykowych i wełny przy różnych udziałach obu składników oraz z wełny zaprezentowano na rysunku 64.



Rysunek 64. Grubość mat, [mm].

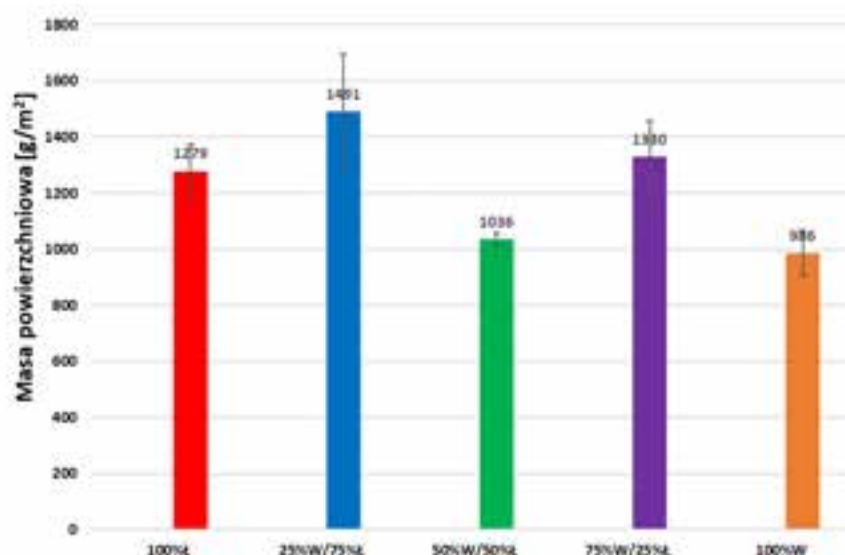
Grubości badanych mat mieszczą się w zakresie 6,77–10,60 mm. Najcieńsza jest mata wykonana ze 100% włókien łykowych. W przypadku mat zawierających w swoim składzie wełnę, grubości mat są większe i osiągają wartości ponad 10 mm. Grubość maty wykonanej ze 100 % wełny wynosi 8,60 mm.

Pomimo, iż do produkcji mat jednoskładnikowych jak i mieszkankowych użyto tej samej liczby warstw – 18 warstw pokładu runa, otrzymano różną grubość mat. Przeprowadzony test C-Corchana i Coxa ($\alpha=0,05$) wykazał statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami średnimi grubości mat wyprodukowanych ze 100% włókien łykowych w odniesieniu do pozostałych mat. Nie wykazano natomiast statystycznie istotnych różnic pomiędzy wartościami średnimi w matach mieszkankowych (Test t- Studenta, ($\alpha=0,05$)). Różnice w grubości mat wynikają zarówno ze zróżnicowanej specyfiki włókien łykowych i wełny, jak i z dużej nierównomierności grubości runa stanowiącego kolejną warstwę maty. Maty wykonane z mieszanek włókien łykowych oraz wełny charakteryzują się wyższą grubością w stosunku do mat jednoskładnikowych. Analizując strukturę włókien wełny owczej i włókien łykowych na podstawie przeglądu literatury w punkcie 3.1 oraz 3.2 można stwierdzić, iż różnice w grubości mat wynikają z właściwości włókien uwarunkowanych różnicami w zakresie zarówno budowy chemicznej jak i struktury powierzchniowej włókien. Włókna wełny w porównaniu z włóknami łykowymi są bardziej sprężyste, łatwo tworzą struktury przestrzenne zawierające dużo powietrza. Sztywniejsze włókna łykowe tworzą swoiste rusztowanie podtrzymujące włókna wełny, nie pozwalając na zakleszczanie się wyposażonych w łuski włókien. Stąd też grubość mat mieszkankowych jest wyższa niż grubość mat jednoskładnikowych. W macie wykonanej w 100% z włókien łykowych, włókna przylegają do siebie tworząc gęstą strukturę, dlatego grubość tych mat jest najniższa.

Z kolei sprężyste włókna wełny tworzą bardziej puszystą strukturę strumienia włókien, grubość mat wełnianych jest wyższa niż grubość mat łykowych, ale niższa niż mat mieszankowych. Technologia wytwarzania mat jest identyczna dla wszystkich wariantów surowcowych, wszystkie maty zawierają tę samą liczbę warstw runa, stąd można założyć, że liczba włókien w jednostce objętości mat jest zbliżona. Nie mniej jednak w odniesieniu do grubości mat należy pamiętać o nierównomierności grubości runa utrudniającej wytwarzanie mat o powtarzalnych parametrach strukturalnych takich jak grubość oraz masa powierzchniowa.

5.3.1.2 Masa powierzchniowa

Wyniki pomiarów masy powierzchniowej mat wytworzonych z włókien łykowych, mieszanek włókien łykowych i wełny przy różnych udziałach obu składników oraz z wełny zaprezentowano rysunku 65.



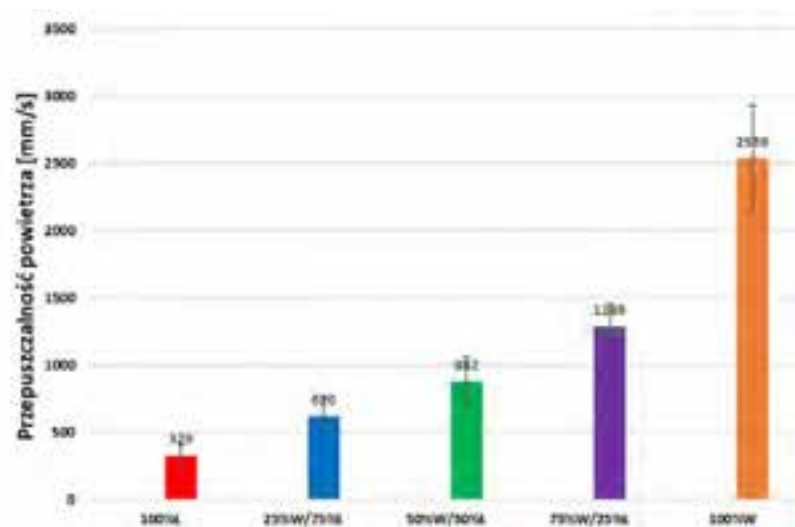
Rysunek 65. Masa powierzchniowa mat, [g/m²].

Masa powierzchniowa mat wytworzonych z włókien łykowych i wełnianych będących przedmiotem badań zawiera się w przedziale od 986 do 1491 g/m². Maty w składzie surowcowym 100% wełny oraz 50%W/50%Ł charakteryzują się najniższą masą powierzchniową. Masa powierzchniowa mat z większym niż 25% udziałem wełny w mieszance jest niższa niż w przypadku mat z przeważającym udziałem włókien łykowych, poza przypadkiem 75%W/25%Ł. Wynika to z różnicy gęstości włókien, gęstość włókien wełny 1,30 g/cm³ jest niższa niż gęstość włókien łykowych, która wynosi 1,48–1,50 g/cm³, stąd wyroby wełniane będą miały niższą masę powierzchniową niż wyroby z włókien łykowych przy założeniu, że struktury porównywanych wyrobów są podobne. Wyjątek od reguły stanowi masa powierzchniowa maty o składzie surowcowym 75%W/25%Ł, który należy tłumaczyć nierównomiernością grubości warstw runa

składających się na końcową postać maty. Runo formowane w procesie zgrzeblenia ma delikatną strukturę o widocznych pocienieniach. Z technologicznego punktu widzenia niemożliwe jest osiągnięcie jednorodności grubości poszczególnych nakładanych na siebie warstw runa, a tym samym wyprodukowanie mat o powtarzalnych parametrach grubości i masy powierzchniowej. Dla masy powierzchniowej mat określono odchylenie standardowe, które wskazuje na rozrzut wyników wokół średniej wartości, co pozwala na sformułowanie wniosku o zmienności wartości tego parametru dla badanych mat. Runo w procesie produkcyjnym formowane jest w sposób mechaniczny za pomocą zgrzeblarki wyposażonej w odpowiednio rozbudowane elementy rozluźniająco rozwłókniające. Podstawowym urządzeniem w procesie jest zgrzeblarka wałkowa. Z pomocą wałków wprowadzających oraz szarpiających następuje wstępne rozluźnienie i równomierne rozłożenie surowca na całej szerokości maszyny. Jednak w związku z tym, iż do produkcji użyto dwóch skrajnie od siebie różnych surowców, tj. wełny i włókien łykowych, istnieje duże prawdopodobieństwo, że włókna nie zostały równomiernie wymieszane, pokład runa mógł mieć różne grubości co ostatecznie w efekcie finalnym przełożyło się zarówno na zróżnicowaną grubość mat jak i nierównomierność masy powierzchniowej. Należy jednak mieć na uwadze, że wyprodukowane maty mają mieć przeznaczenie techniczne, gdzie grubość ich może zostać regulowana w zależności od potrzeb np. poprzez warstwowe nakładanie mat na siebie.

5.3.1.3 Przepuszczalność powietrza

Wyniki pomiarów przepuszczalności powietrza mat wytworzonych z włókien łykowych, mieszanek włókien łykowych i wełny przy różnych udziałach obu składników oraz z wełny zaprezentowano na rysunku 66.

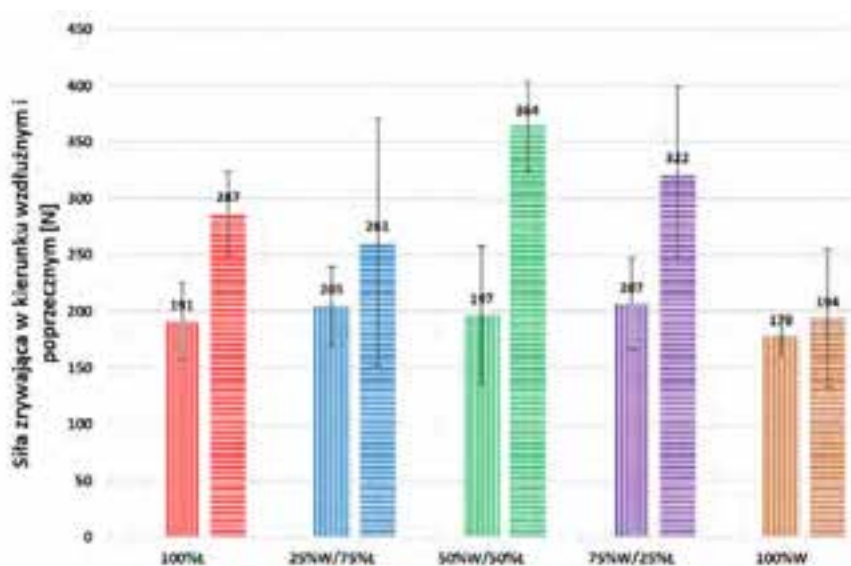


Rysunek 66. Przepuszczalność powietrza, [mm/s].

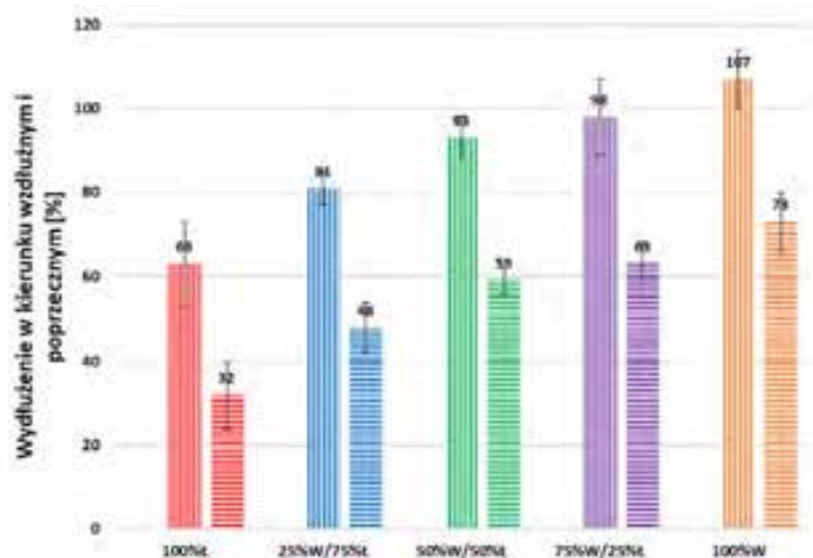
Przepuszczalność powietrza badanych mat mieści się w zakresie 329–2589 mm/s. Najniższą przepuszczalnością powietrza wykazały maty wytworzone ze 100% włókien łykowych. Wraz ze wzrostem zawartości wełny w matach przepuszczalność powietrza stopniowo wzrasta, aż do osiągnięcia wartości 2539 mm/s dla maty wykonanej ze 100% wełny. Mata wykonana ze 100% włókien łykowych przepuszcza najmniej powietrza, czyli stanowi największy opór dla przepływu powietrza i osiąga wartość 329 mm/s. Przepuszczalność powietrza materiałów włókienniczych zależy od struktury tych materiałów, głównie od ich grubości jak również od gęstości nitek/włókien z których wytworzone są te materiały oraz splotu/sposobu ich ułożenia. Wymienione czynniki decydują o wielkości przestrzeni między włóknami, które determinują zdolność materiałów do przepuszczalności powietrza. Włókna wełny ze względu na sprężystość tworzą luźne, puszyste struktury o dużej liczbie przestrzeni między włóknami. Maty zbudowane z wełny charakteryzują się większą przepuszczalnością powietrza. Z kolei pozbawione sprężystości włókna łykowe tworzą zbitą strukturę, włókna ułożone są gęsto jedno na drugim ograniczając w ten sposób obecność wolnych przestrzeni między włóknami, a co za tym idzie, ograniczając przepuszczalność powietrza.

5.3.1.4 Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie

Wyniki badań właściwości mechanicznych mat wytworzonych z włókien łykowych, włókien łykowych w mieszance z wełną oraz z wełny mierzone w kierunku wzdłużnym oraz poprzecznym zaprezentowano rysunkach 67,68.



Rysunek 67. Siła zrywająca mat badania w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, [N].



Rysunek 68. Wydłużenie mat badane w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, [%].

Siła zrywająca w kierunku wzdłużnym mieści się w przedziale 178–207 N. Przy czym maty wytworzone z mieszanek wełny i włókien łykowych wykazują w niewielkim stopniu wyższe wartości siły zrywającej w kierunku wzdłużnym od mat jednoskładnikowych, jednak przeprowadzona analiza statystyczna t-Studenta ($\alpha=0,05$) nie wykazała statystycznie istotnie różnic pomiędzy wartościami średnimi siły zrywającej w kierunku wzdłużnym mat wyprodukowanych ze 100% włókien łykowych w odniesieniu do pozostałych mat. Najniższą wytrzymałość i jednocześnie największe wydłużenie w kierunku wzdłużnym odnotowano dla maty wykonanej ze 100% wełny.

Siła zrywająca w kierunku poprzecznym mieści się w przedziale 194–364 N. Najniższą wytrzymałość i jednocześnie największe wydłużenie w kierunku poprzecznym odnotowano dla maty wykonanej ze 100% wełny. Mata wykonana z 50% domieszką włókien wełny wykazuje największą wytrzymałość w kierunku poprzecznym. Przeprowadzone testy t-Studenta oraz C-Corchana i Coxa ($\alpha=0,05$) wykazały statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami średnimi siły zrywającej w kierunku poprzecznym pomiędzy matą wykonaną ze 100% włókien łykowych a matą z 50% domieszką wełny, w pozostałych przypadkach nie odnotowano statystycznie istotnych różnic.

Wszystkie próby badane w kierunku poprzecznym wykazują wyższą siłę zrywającą oraz mniejsze wydłużenie w stosunku do tych parametrów badanych dla kierunku wzdłużnego. Wraz ze wzrostem zawartości wełny zarówno w kierunku wzdłużnym jak i poprzecznym wzrasta wydłużenie.

Przeprowadzone testy t-Studenta oraz C-Corchana i Coxa ($\alpha=0,05$) wykazały statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami średnimi siły zrywającej pomiędzy kierunkiem wzdłużnym a poprzecznym dla mat mieszkankowych oraz maty wyprodukowanej ze 100% włókien łykowych.

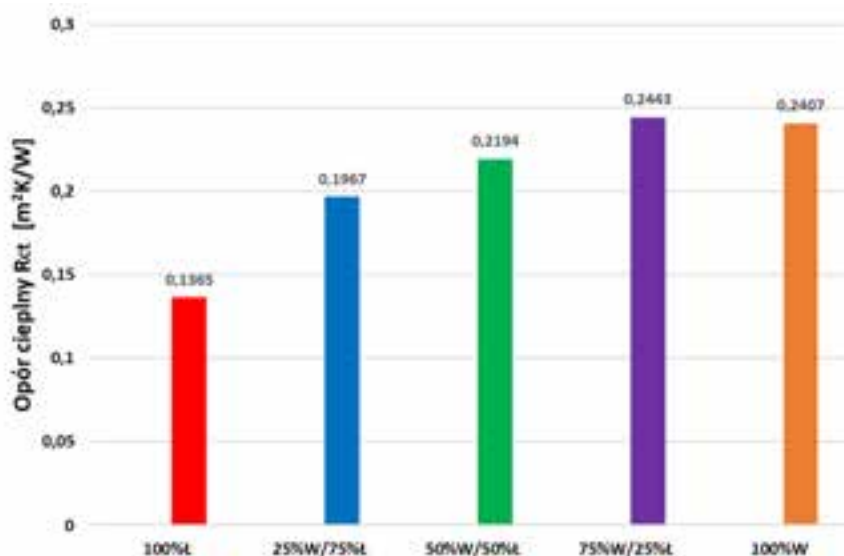
Nie wykazano natomiast statystycznie istotnych różnic pomiędzy wartościami średnimi siły zrywającej w kierunku wzdłużnym a poprzecznym dla maty wytworzonej ze 100% wełny. Wykazane różnice wytrzymałości na zrywanie mat pomiędzy kierunkiem wzdłużnym a poprzecznym związane są ze sposobem formowania runa i wynikają z kierunku ułożenia włókien. Urządzenie formujące maty układa warstwy runa w kierunku poprzecznym względem kierunku przesuwu mat, podczas którego następuje igłowanie. Runo uformowane z równoległe ułożonych włókien jest bardziej wytrzymałe w kierunku wzdłużnym włókien w porównaniu z wytrzymałością badaną w kierunku poprzecznym. Ze względu na sposób formowania mat, ułożenie włókien w kolejnych warstwach runa jest prostopadłe do kierunku igłowania, stąd też wytrzymałość mat badana w kierunku wzdłużnym jest niższa, niż w kierunku poprzecznym. W kierunku poprzecznym maty są bardziej wytrzymałe, ponieważ ułożone w nich włókna w kierunku wzdłużnym są ze sobą lepiej powiązane.

5.3.2 Właściwości barierowe mat w zakresie izolacyjności cieplnej i akustycznej

5.3.2.1 Izolacyjność cieplna

5.3.2.1.1 Opór cieplny R_{ct}

Wyniki pomiaru oporu cieplnego R_{ct} mat wytworzonych z włókien tykowych, włókien tykowych w mieszance z wełną oraz z wełny zaprezentowano na rysunku 69.

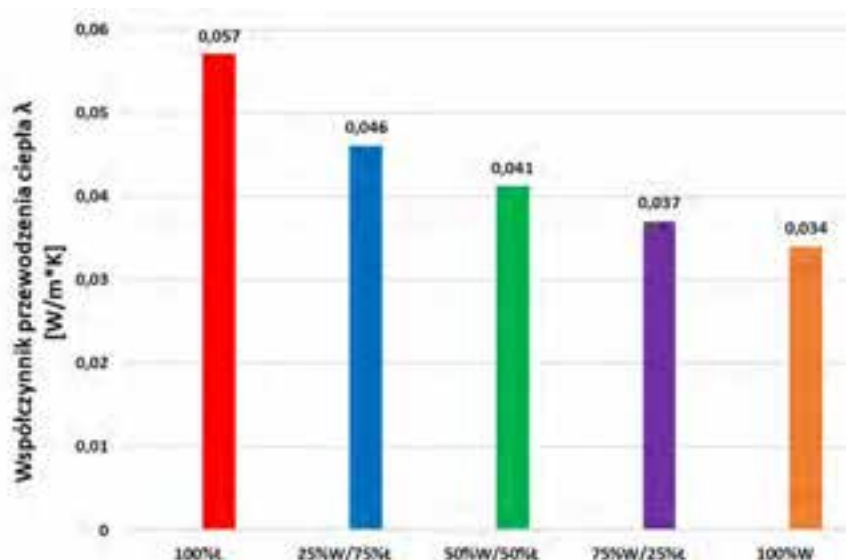


Rysunek 69. Opór cieplny wytworzonych mat [m^2K/W].

Mata wykonana ze 100% włókien tykowych wykazała najniższy opór cieplny (0,1365 m²K/W), natomiast mata wykonana z 75% domieszką wełny wykazała najwyższy opór cieplny (0,2443 m²K/W), wzrost wartości szacuje się na poziomie 79%. Wraz ze wzrostem zawartości wełny w matach opór cieplny wzrasta. Opór cieplny zależy od grubości przegrody oraz od współczynnika przewodzenia ciepła badanego materiału.

5.3.2.1.2 Współczynnik przewodzenia ciepła λ

Wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła λ mat wytworzonych z włókien tykowych, włókien tykowych w mieszance z wełną oraz z wełny zaprezentowano na rysunku 70.



Rysunek 70. Współczynnik przewodzenia ciepła λ , [W/m²·K].

Wartości współczynników przewodzenia ciepła λ badanych mat mieszczą się w przedziale 0,034–0,057 W/(m²·K), przy czym największą wartością współczynnika λ charakteryzuje się mata wykonana ze 100% włókien tykowych, natomiast najniższą mata wykonana ze 100% włókien wełnianych. Wraz ze wzrostem zawartości wełny w próbach współczynnik przewodzenia ciepła osiąga niższą wartość. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla maty wykonanej ze 100% wełny zmalała o 40% w porównaniu do wartości uzyskanej dla maty wytworzonej ze 100% włókien tykowych.

Im mniejsza jest wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ tym produkt/materiał posiada lepsze właściwości termoizolacyjne. Wraz ze wzrostem zawartości wełny w matach współczynnik przewodzenia ciepła λ maleje. Standardowo używane izolacje mają współczynnik λ na poziomie 0,036–0,045 W/(m²·K). Materiały o $\lambda \leq 0,035$ W/(m²·K) uznaje się za dobrze izolujące ciepło. Superizolatory to materiały osiągające wartość współczynnika przewodzenia ciepła na

poziomie 0,014 W/(m·K). Zgodnie z tą interpretacją wielkości współczynnika λ należy stwierdzić, iż maty wykonane w 100% z wełny oraz maty mieszkankowe wełna/włókna łykowe, posiadające w swoim składzie surowcowym do 50% włókien łykowych są dobrym materiałem izolacyjnym. Bardzo dobrym izolatorem ciepła jest powietrze, dla którego λ wynosi 0,02 W/(m·K). Stąd materiały puszyste o licznie występujących dużych przestrzeniach między włóknami z zakleszczonym w nich powietrzem będą charakteryzowały się wyższym oporem cieplnym w porównaniu z materiałami o gęsto upakowanych włóknach, dlatego maty z wysoką zawartością wełny charakteryzują się najlepszymi właściwościami izolacyjnymi.

Otrzymane wartości oporu cieplnego R mat o grubości d w odniesieniu do współczynników przewodzenia ciepła λ są zgodne z oczekiwaniami wynikającymi ze wzoru: $R = d/\lambda$, co potwierdzają wartości zilustrowane na rysunkach 69 i 70. Mata wykonana ze 100% włókien łykowych posiadająca najwyższy współczynnik $\lambda=0,057$ W/(m·K) wykazuje jednocześnie najniższy opór cieplny $R_{ct}=0,1365$ m²K/W. Ta sama zależność występuje we wszystkich analizowanych przypadkach. Wraz ze spadkiem wartości współczynnika λ wzrasta opór cieplny R_{ct} . Wartości oporu cieplnego R_{ct} dla mat wykonanych ze 100% wełny oraz z 75% udziałem wełny w stosunku do włókien łykowych, są takie same.

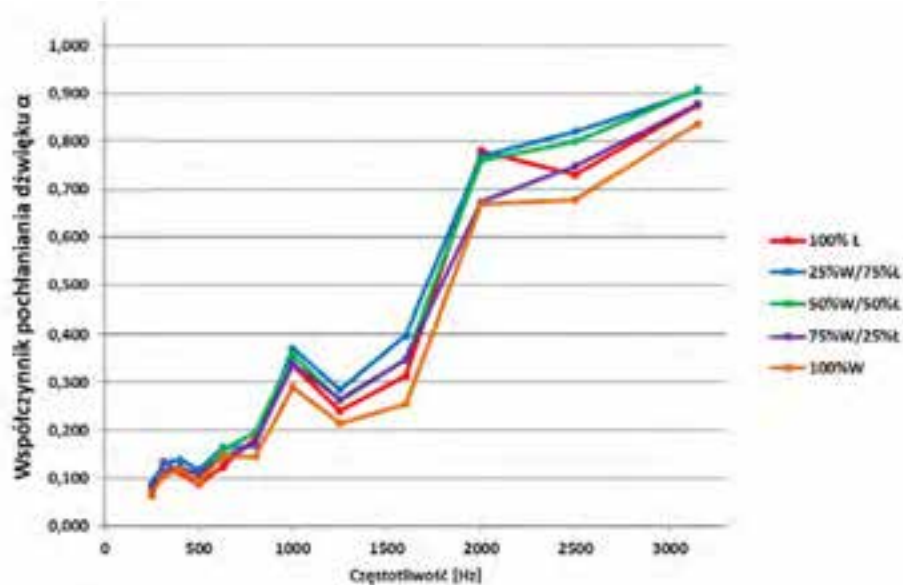
Porównując otrzymane współczynniki przewodzenia λ ciepła wytworzonych mat, których wartości zawierają się w przedziale 0,034–0,046 W/m·K, np. ze styropianem, którego wartość λ wg danych literaturowych (Tabela 1) mieści się w zakresie 0,031–0,045 W/(m·K) lub wełną mineralną, dla której λ mieści się w zakresie 0,033–0,045 W/(m·K), można stwierdzić, że opracowane maty wełniano-lniano-konopne mogą zastąpić stosowane obecnie nieekologiczne materiały izolacyjne.

5.3.2.2 Izolacyjność akustyczna

5.3.2.2.1 Współczynnik pochłaniania dźwięku α i redukcji hałasu

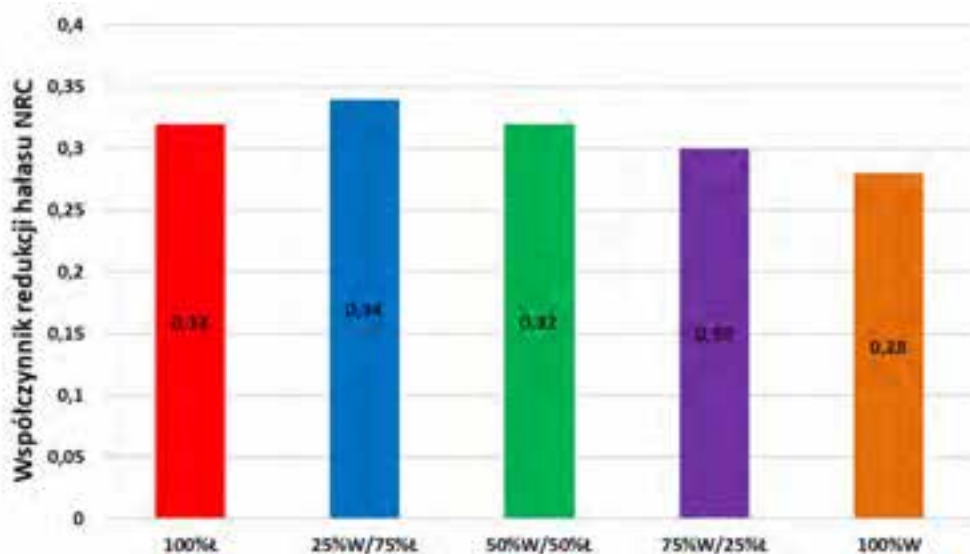
NRC

Zależności pomiędzy współczynnikiem pochłaniania dźwięku a częstotliwością fali dźwiękowej dla analizowanych prób przedstawiono na rysunku 71. Obliczono także współczynnik redukcji hałasu NRC, który zaprezentowano na rysunku 72.



Rysunek 71. Współczynnik pochłaniania dźwięku α .

Dla wszystkich badanych prób w zakresie częstotliwości 250–3150 Hz, niezależnie od udziału procentowego zastosowanych do produkcji mat surowców, krzywe pochłaniania dźwięku w funkcji częstotliwości przyjmują podobne kształty. Dla maty wytworzonej ze 100% włókien tykowych wartości współczynnika pochłaniania dźwięku α mieszczą się w przedziale 0,06–0,88, dla maty wykonanej z 25% domieszką wełny $\alpha=0,09$ –0,90, dla maty z 50% domieszką wełny $\alpha=0,07$ –0,91, dla maty z 75% domieszką wełny $\alpha=0,08$ –0,88, dla maty wytworzonej ze 100% wełny $\alpha = 0,07$ –0,84.



Rysunek 72. Współczynnik redukcji hałasu NRC.

Na podstawie wartości współczynnika pochłaniania dźwięku α , obliczono wartości współczynnika redukcji hałasu NRC. Najwyższą wartością współczynnika NRC=0,34 charakteryzuje się mata wykonana z 25% dodatkiem włókien wełny. Najniższą wartość NRC=0,28

osiągnęła mata wykonana ze 100% wełny. Wraz ze wzrostem zawartości wełny owczej w próbie współczynnik redukcji hałasu NRC maleje o 6%.

Analizując można stwierdzić, że dla wszystkich prób, przy niskiej częstotliwości fali dźwiękowej, współczynnik α jest niski, od 0,06 do 0,16. Powyżej 500 Hz wraz ze wzrostem częstotliwości współczynnik α wzrasta i przy 1000 Hz osiąga wartość 0,37 dla maty zawierającej 25% wełny i 75% włókien łukowych. W tym punkcie najniższą wartość współczynnika $\alpha=0,29$ osiąga mata wytworzona w 100% z wełny. Dla wszystkich wariantów mat w zakresie częstotliwości od 1000 do 1250 Hz nastąpił spadek współczynnika pochłaniania dźwięku. Powyżej 1250 Hz nastąpił ponowny wzrost współczynnika α i przy częstotliwości 2000 Hz najwyższą jego wartość na poziomie 0,78 odnotowano dla maty wykonanej ze 100% włókien łukowych oraz maty z 25% dodatkiem wełny owczej, dla której wartość α wynosi 0,77. Przy częstotliwości 2500 Hz nastąpił spadek wartości α dla mat wykonanych ze 100% włókien łukowych oraz 100% wełny, natomiast maty wytworzone z dodatkiem wełny charakteryzowały się najwyższymi wartościami współczynnika α .

Przy najwyższej częstotliwości przy której wykonano pomiary (3150 Hz), dla wszystkich wariantów mat, współczynnik pochłaniania dźwięku osiągnął maksymalne wartości. Maty zawierające w składzie dodatek wełny osiągnęły najwyższe wartości przy ww. częstotliwości. Maty wytworzone z 25% i 50% dodatkiem wełny osiągnęły wartość $\alpha=0,91$, co oznacza, że ponad 90% energii fali akustycznej zostało pochłonięte przez maty, a poniżej 10 % fal akustycznych uległo odbiciu, mata z 75% dodatkiem wełny osiągnęła wartość $\alpha=0,88$, co oznacza, że 88% energii fali akustycznej zostało pochłonięte przez maty a 12% fal akustycznych uległo odbiciu.

Odnosząc otrzymane wyniki dla częstotliwości 2000 Hz dla mat wykonanych ze 100% włókien łukowych ($d=7$ mm) oraz z 25% i 50% domieszką wełny ($d=10$ mm) dla których wartości α mieszczą się w zakresie (0,76–0,78) można stwierdzić, że maty te pochłaniają więcej dźwięków niż wyszczególnione w tabeli 3, filce o grubości $d=5$ mm oraz $d=25$ mm, płyta pilśniowa porowata o grubości $d=12,5$ mm, wykładzina dywanowa o grubości $d=6$ mm, oraz zastona $< 0,2$ kg/m².

W związku z brakiem danych literaturowych w zakresie częstotliwości 3150 Hz, wartość współczynnika pochłaniania dźwięku α dla tej częstotliwości porównano z wartościami innych materiałów określonymi dla częstotliwości 4000 Hz. W tym przypadku dla mat z 25% i 50% domieszką wełny w stosunku do włókien łukowych wartości współczynnika α szacowały się na poziomie 0,90 i 0,91. Maty te osiągnęły wartości współczynnika α większe od większości materiałów/wyrobów zestawionych w tabeli 3, z wyjątkiem wełny mineralnej $d=5$ cm oraz typowo dźwiękochłonnych paneli ściennych i sufitowych z wełny szklanej, które całkowicie pochłaniają dźwięk ($\alpha=1,00$). Należy jednak podkreślić, iż nie są to materiały wyprodukowane na bazie roślinnych i zwierzęcych surowców naturalnych. Wg danych literaturowych [64] na

współczynnik pochłaniania dźwięku ma wpływ m in. grubość materiału i przepuszczalność powietrza. Porównując wyniki współczynnika pochłaniania dźwięku α w zakresie różnych częstotliwości (Rysunek 71) z danymi literaturowymi (Tabela 3), ogólnie można wnioskować, że wszystkie warianty wyprodukowanych mat wykazują niskie pochłanianie dźwięku w niskich częstotliwościach 250-500 Hz. Zdecydowana poprawa pochłaniania dźwięku przez maty jest widoczna przy średnich i wysokich częstotliwościach.

Opracowane maty z 25% i 50% udziałem włókien wełnianych charakteryzowały się większą grubością niż maty wykonane ze 100% włókien łykowych i 100% wełny, ponadto wykazywały większą przepuszczalność powietrza w stosunku do maty wykonanej ze 100% włókien łykowych. Nie mniej jednak, maty wykonane w 100% z wełny charakteryzują się najniższym spośród pozostałych składów mieszankowych mat, współczynnikiem pochłaniania dźwięku α dla wszystkich badanych częstotliwości, jak również najniższą wartością współczynnika redukcji hałasu.

W celu sprawdzenia czy otrzymane wartości współczynnika α dla niskich częstotliwości uległyby poprawie przy modyfikacji grubości mat, wskazane byłoby przeprowadzenie takiej oceny w przyszłości.

Analizując wyniki badań współczynników redukcji hałasu należy stwierdzić, iż maty z większą niż 25% zawartością wełny w mieszance z włóknami łykowymi charakteryzują się niższą zdolnością redukcji hałasu niż maty z przewagą włókien łykowych w mieszance. Włókna wełny ze względu na strukturę powierzchni posiadają większą zdolność odbijania fal akustycznych w porównaniu z włóknami łykowymi.

Odnosząc otrzymane wyniki współczynnika redukcji hałasu NRC (Rysunek 72) do danych zawartych w Tabeli 4 można stwierdzić, że wytworzone maty na bazie wełny owczej i włókien łykowych mieszczą się w większości zakresów odpowiadających różnym materiałom stosowanym w budownictwie oraz wnętrzach pomieszczeń. Materiały takie jak wełna skalna – 9 cm, wełna mineralna – 5 cm, oraz profesjonalny panel akustyczny, posiadają zdecydowanie wyższe wartości współczynników NRC. Należy jednak zauważyć, że współczynnik NRC zależy od grubości materiału a wyprodukowane maty na bazie wełny i włókien łykowych posiadają stosunkowo niewielką grubość w porównaniu ww. materiałami, zatem należy przypuszczać, że zwiększenie grubości mat w znaczący sposób wpłynie na wartości współczynnika NRC. Porównując otrzymane współczynniki NRC np. drewnem, szkłem, dywanem umieszczanym na ścianie, betonem, cegłą czy płytą kartonową - gipsową (dla których nie podano grubości, ale należy przypuszczać, że są to materiały grubsze niż wyprodukowane maty), można zauważyć, że maty posiadają wyższe wartości współczynnika NRC a co za tym idzie są bardziej dźwiękochłonne.

5.3.3 Wyniki badań reakcji na ogień i termostabilności mat

5.3.3.1 Badanie reakcji na ogień

Wyniki badań reakcji na ogień zaprezentowano w tabeli 13.

Tabela 13. Badanie reakcji na ogień.

Parametr	Próbka									
	100%ł		25%W/75%ł		50%W/50%ł		75%W/25%ł		100%W	
Badany kierunek	↑	→	↑	→	↑	→	↑	→	↑	→
Wystąpienie zapalenia (Tak/Nie)	Nie		Nie		Nie		Nie		Nie	
Osiągnięcie przez wierzchołek płomienia odległości 150 mm (Tak/Nie)	Nie		Nie		Nie		Nie		Nie	
Czas, po którym płomień osiągnął odległość 150 mm (s)	-		-		-		-		-	
Opadanie płonących kropeł	Nie		Nie		Nie		Nie		Nie	
Zapalenie papieru filtracyjnego (Tak/Nie)	Nie		Nie		Nie		Nie		Nie	
↑ – wzdłużny, → – poprzeczny										

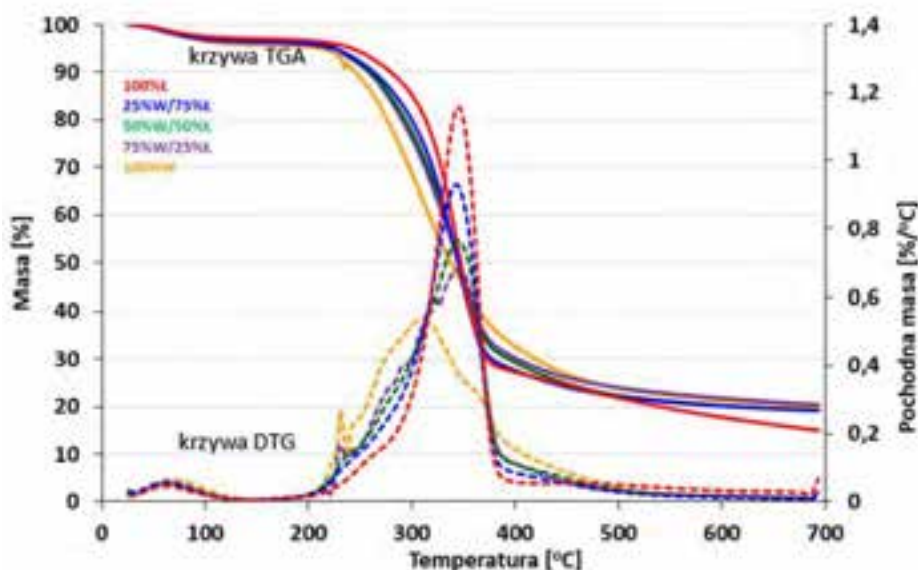
Podczas badania reakcji na ogień w żadnym wariantcie nie odnotowano wystąpienia zapłonu, a co za tym idzie nie odnotowano osiągnięcia przez płomień odległości 150 mm od punktu przyłożenia płomienia. Podczas badania próbek nie odnotowano także, występowania odpadających płonących kropli, które w warunkach użytkowania mogłyby sprzyjać rozprzestrzenianiu pożaru. W badaniach próbek z większą zawartością włókien tykowych występowało miejscowe żarzenie w punkcie przyłożenia płomienia zapalającego – żarzenie to ustępowało kilka sekund po odjęciu płomienia. W badaniach próbek z większą zawartością wełny owczej nie zaobserwowano miejscowego żarzenia. Na podstawie otrzymanych wyników można przyjąć, że maty wytworzone na bazie wełny owczej i włókien tykowych spełniają wymagania dla klasy E zgodnie z europejskim systemem klasyfikacji wg PN-EN 13501-1. Zgodnie z obowiązującym systemem klasyfikacji ogniowej wyrobów budowlanych i elementów budynków według normy PN-EN 13501-1 w celu zakwalifikowania danego wyrobu do klasy reakcji na ogień należy przeprowadzić serię odpowiednich badań. Dla wyrobów budowlanych istnieje 7 podstawowych klas: A1, A2, B, C, D, E, F. Najbezpieczniejsza jest klasa A1. Materiały prawie niepalne oznaczane są klasą A2, klasa B natomiast oznacza bardzo ograniczony udział w pożarze. Klasy C, D, E i F informują, że zachodzi rozgorzenie materiału. Powszechnie stosowana izolacja termiczna w postaci wełny mineralnej, niezależnie od gęstości i grubości, kwalifikuje się

do grupy materiałów niepalnych A1. W przypadku styropianu (jeżeli wyrób nie zawiera środków opóźniających palność), zalicza się do klasy F, bądź E. Dostępne na polskim rynku izolacje termiczne w postaci mat produkowane przez firmę Steico, na bazie surowców naturalnych (włókno drzewne) znajdują się w klasyfikacji ogniowej w klasie E.

W celu dokładnego określenia czy wyroby izolacyjne na bazie wełny owczej i włókien łykowych mogą spełniać wymagania dla wyższych klas reakcji na ogień (np.: B, C lub D) niezbędne jest określenie w przyszłości potencjalnego udziału wyrobu w rozwoju pożaru w symulowanej sytuacji pożarowej w powiększonej skali wg normy PN-EN 13823. Ze względu na eksperymentalny charakter realizowanych badań i ograniczoną ilość próbek porzeczano na badaniu podstawowym wg normy PN-EN ISO 11925-2.

5.3.3.2 Badanie termostabilności i analiza związków wydzielonych podczas termicznego rozpadu w warunkach pirolizy

Wyniki badań zaprezentowano na rysunkach 73–84 oraz w tabelach 14–15.



Rysunek 73. Krzywe TGA i DTG badanych mat.

Analiza krzywych TGA (Rysunek 73) wskazuje na jednoetapowy rozpad wszystkich badanych mat. Rozpatrując krzywe DTG można zauważyć, że kształty krzywych przebiegają w różnym zakresie temperatur w zależności od maty. Dla mat wykonanych tylko z wełny rozpad termiczny zachodzi wcześniej w porównaniu do mat wykonanych z dodatkiem włókien łykowych i samych łykowych, co związane jest z budową chemiczną włókna, keratyny dla wełny i celulozy dla włókien łykowych. Rozpad termiczny głównych składników wełny (keratyny) jak i włókien łykowych (celulozy) rozpoczyna się w podobnym zakresie temperatur ok. 220°C. Dla maty

wytworzonej ze 100% wełny rozpad termiczny głównych składników kończy się w temperaturze ok. 480°C. W przypadku mat zawierających wełnę z dodatkiem włókien łykowych oraz maty wytworzonej ze 100% włókien łykowych rozpad termiczny kończy się w temperaturze ok. 385°C.

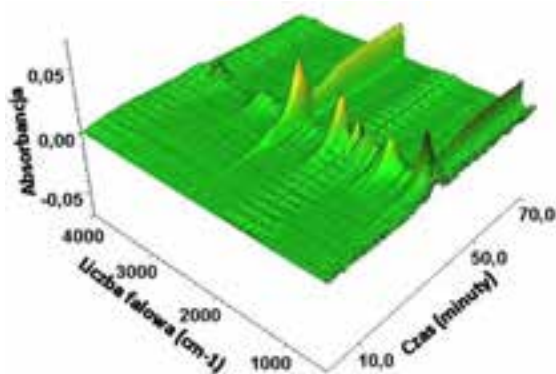
Tabela 14. Właściwości termiczne mat.

	DTG*	Temperatura dla 10% ubytku masy	Temperatura dla 60% ubytku masy	Pozostałość w 700°C
	°C	°C	°C	%
100%Ł	344,12	267,74	354,89	12,50
25%W/75%Ł	343,48	255,62	355,48	18,76
50%W/50%Ł	345,07	252,71	357,73	18,71
75%W/25%Ł	341,78	249,62	360,06	19,49
100%W	308,62	234,86	362,42	19,58

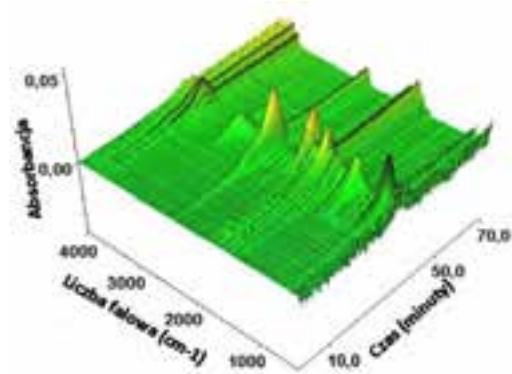
* maksymalny punkt rozpadu na krzywej DTG

W przypadku maty wykonanej ze 100% wełny, maksimum krzywej DTG przypada na 308,62°C, co jest związane z rozpadem keratyny. Natomiast dodanie do mat włókien łykowych wpływa na podwyższenie temperatury rozpadu próbki powyżej 340°C, co jest związane z rozpadem celulozy. Dla mat wykonanych z dodatkiem wełny maksima krzywych DTG umiejscowione są w podobnych temperaturach w zakresie od 343,48 do 345,07°C. Na podstawie otrzymanych wyników DTG można stwierdzić, że mata wykonana ze 100% wełny owczej jest mniej stabilna termicznie, gdyż rozpad termiczny zachodzi o ok. 35°C wcześniej niż dla mat z dodatkiem włókien łykowych. Pozwala to wnioskować, że celuloza charakteryzuje się wyższą stabilnością termiczną w porównaniu do keratyny. Zatem dodatek włókien łykowych podnosi stabilność termiczną mat. Zaobserwowano także różnice w ilości stałej pozostałości po procesie pirolizy. Najmniejszą pozostałością masy w temp 700°C charakteryzowała się próba wykonana ze 100% włókien łykowych (12,50%). Mata wykonana ze 100% wełny wykazała największą pozostałość w 700°C (19,58%), jednak przeprowadzony test t-Studenta ($\alpha=0,05$) nie wykazał statystycznie istotne różnic pomiędzy wartościami średnimi pozostałości w 700°C pomiędzy matami wytworzonymi ze 100% włókien łykowych a 100% wełny.

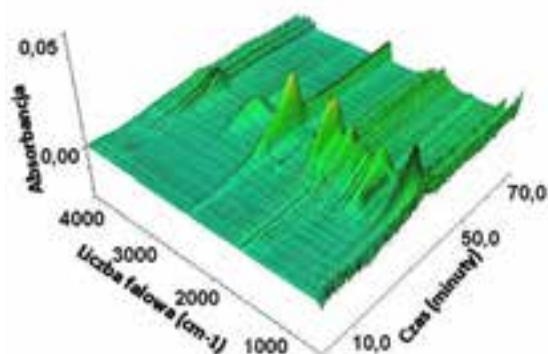
Równocześnie z analizą termicznego rozpadu włókien, były analizowane uwolnione gazy (Tabela 15) z wykorzystaniem techniki transmisyjnej (FTIR). Widma FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego mat zaprezentowano na rysunkach 74-78.



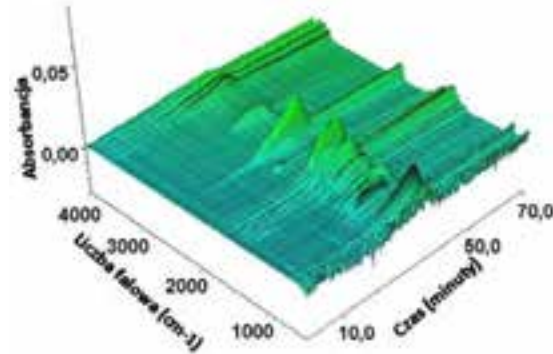
Rysunek 74. Widmo FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego maty 100% Ł.



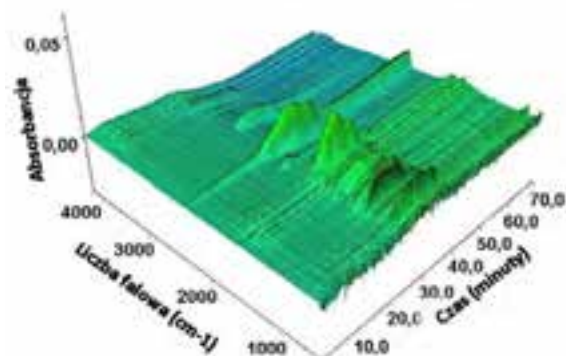
Rysunek 75. Widmo FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego maty 25%W/75%Ł.



Rysunek 76. Widmo FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego maty 50%W/50%Ł.

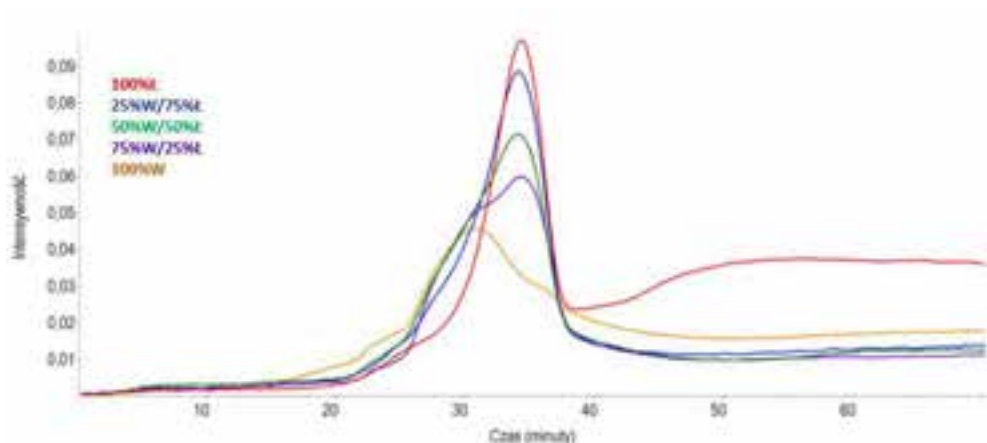


Rysunek 77. Widmo FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego maty 75%W/25%Ł.



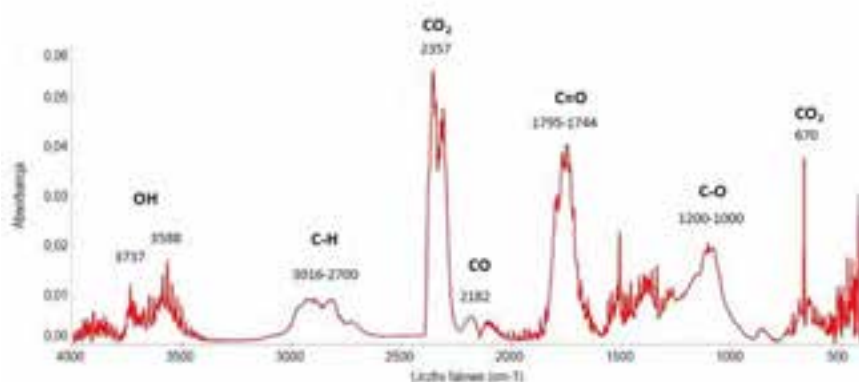
Rysunek 78. Widmo FTIR produktów gazowych uwalnianych podczas rozkładu termicznego maty 100%W.

Na podstawie otrzymanych widm 3D (Rysunki 74–78) dla absorbancji można zauważyć, że intensywność wydzielanych gazów podczas termicznego rozpadu mat jest większa dla prób posiadających w swoim składzie włókna tykowe natomiast najmniejsza jest dla mat wykonanych ze 100 % wełny owczej. Powyższą zależność potwierdza wykres intensywności uwolnionych gazów uzyskany w podczerwieni przedstawiony w postaci krzywej Grama-Schmidta (Rysunek 79).

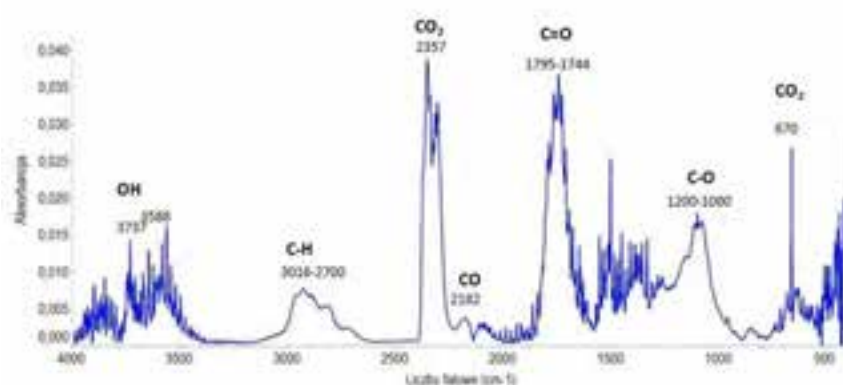


Rysunek 79. Intensywność wydzielanych gazów podczas rozkładu termicznego maty.

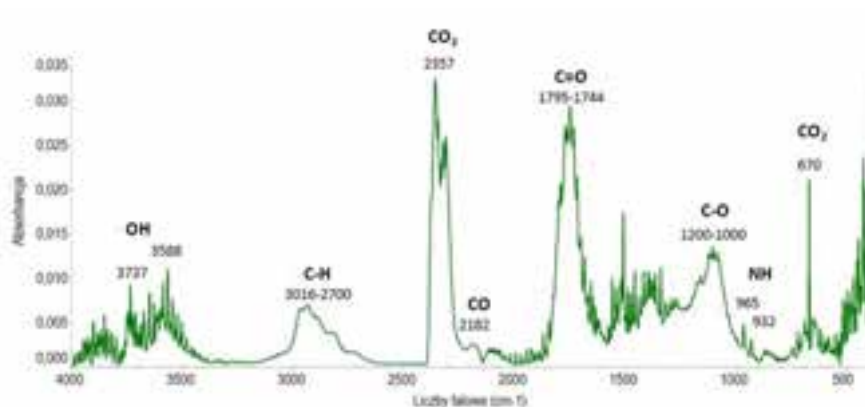
Identyfikację uwolnionych gazów wykonano w oparciu o analizę widm dla wartości maksimum intensywności IR otrzymanej z krzywej Gramma-Schmidta. Wyodrębnione widma zamieszczono na rysunkach 80–84.



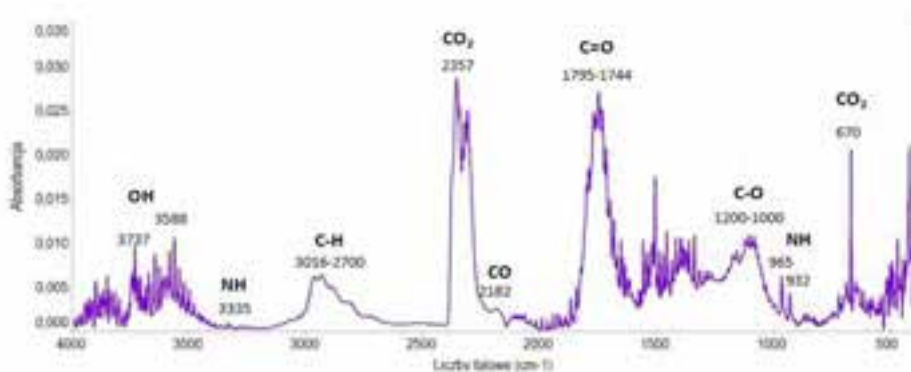
Rysunek 80. Widmo FTIR produktów rozpadu maty 100%N dla maksimum intensywności krzywej Gramma-Schmidta.



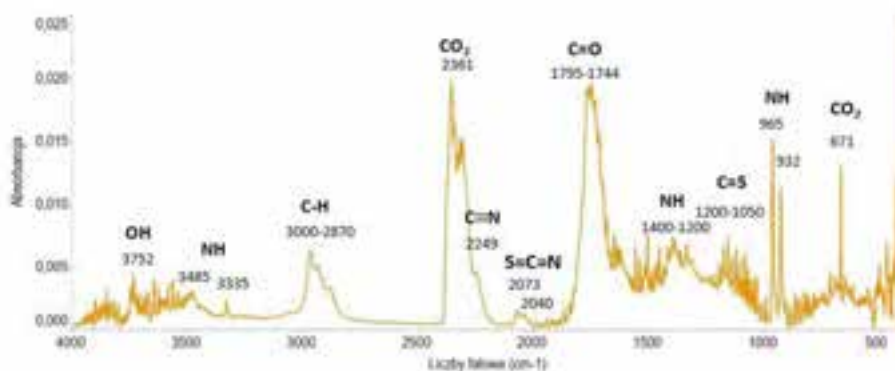
Rysunek 81. Widmo FTIR produktów rozpadu maty 25%N/75%W dla maksimum intensywności krzywej Gramma-Schmidta.



Rysunek 82. Widmo FTIR produktów rozpadu maty 50%W/50%Ł dla maksimum intensywności krzywej Gramma-Schmidta.



Rysunek 83. Widmo FTIR produktów rozpadu maty 75%W/25%Ł dla maksimum intensywności krzywej Gramma-Schmidta.



Rysunek 84. Widmo FTIR produktów rozpadu maty 100%W dla maksimum intensywności krzywej Gramma-Schmidta.

Szczegółowa analiza widm (Rysunki 80–84) pozwoliła zidentyfikować uwalnianie się gazów, takich jak:

- para wodna, pasma rozciągające wiązania OH przy długości fali 3734 cm^{-1} oraz 1507 cm^{-1} (Rysunki 80–85),
- dwutlenek węgla, pasma rozciągające wiązania CO przy długości fali 2351 cm^{-1} oraz 671 cm^{-1} (Rysunki 80–85),
- tlenek węgla, pasma rozciągające dla wiązania CO przy długości fali 2182 cm^{-1}

(Rysunki 80–83),

- amoniak, pasmo drgań rozciągających wiązania NH przy długości fali 3335 cm^{-1} oraz drgań deformacyjnych przy długości fali 1626 cm^{-1} jak i dwóch charakterystycznych pasm deformacyjnych przy długości fali 965 cm^{-1} oraz 932 cm^{-1} (Rysunki 82–84),
- kwas cyjanowodorowy, pasmo drgań rozciągających wiązania C-H przy długościach fali 3325 cm^{-1} , drgań rozciągających wiązania $\text{C}\equiv\text{N}$, charakterystycznego dla tioli, przy długości fali 2249 cm^{-1} oraz drgań zginających dla wiązania H-CN przy długości fali 714 cm^{-1} (Rysunek 84),
- izotiocyjaniiny, absorpcją w zakresie długości fali $1990\text{--}2140\text{ cm}^{-1}$ dla drgań rozciągających wiązania S=C=N- oraz w zakresie długości fali $1050\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ dla drgań rozciągających wiązania C=S (Rysunek 84),
- amidy (I-rzędowe RCONH_2 lub II-rzędowe R_2CONH), pasmo drgań rozciągających wiązania N-H przy długościach fali 3485 cm^{-1} , pasmo drgań rozciągających wiązania C=O w zakresie długości fali $1769\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ oraz drgań zginających dla wiązania N-H w zakresie długości fali $1400\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ (Rysunek 84),
- kwas octowy oraz mrówkowy, pasma rozciągające wiązania OH przy długości fali 3590 cm^{-1} , grupy karbonylowej dla wiązania C=O przy długości fali $1769\text{--}1747\text{ cm}^{-1}$, kwasów C-O przy długości fali 1165 cm^{-1} , oraz drgania rozciągające wiązania -CH_3 przy długości fali 2974 cm^{-1} (Rysunki 80–83),
- formaldehyd, pasma drgań dla grupy aldehydowej wiązania CH przy długości fali 2820 cm^{-1} , CH_2 przy długości fali 2930 cm^{-1} oraz drgania grupy karbonylowej wiązania C=O przy długości fali $1769\text{--}1747\text{ cm}^{-1}$ (Rysunki 80–83),
- metanol, pasma rozciągające wiązania OH przy długości fali 3590 cm^{-1} , grupy karbonylowej dla wiązania C=O przy długości fali 1747 cm^{-1} , kwasów C-O przy długości fali $1123\text{--}1080\text{ cm}^{-1}$ (Rysunki 80–83),
- metan, pasma drgań rozciągających wiązania CH_4 przy długości fali 3016 cm^{-1} (Rysunki 80–83),

Listę zidentyfikowanych związków przedstawiono w tabeli 15.

Badania w podczerwieni wykazały, że gazowymi produktami termicznego rozpadu mat wytworzonych tylko z włókien wełny są: para wodna, dwutlenek węgla, amoniak, związki z grupy izotiocyjaniatów, kwas cyjanowodorowy oraz amidy I lub II rzędowe, co częściowo potwierdzają doniesienia literaturowe [131]. Natomiast rozpad termiczny mat wytworzonych z włókien tykowych prowadzi do wydzielania się związków charakterystycznych dla włókien tykowych czyli

pary wodnej, dwutlenku i tlenku węgla, kwasu octowego i mrówkowego, formaldehydu, metanu i metanolu co również potwierdzają doniesienia literaturowe [118].

W przypadku mat wykonanych w mieszance włókien wełny z włóknami łykowymi w składzie 75%W/25%Ł można zaobserwować, że produkty gazowe pochodzą zarówno od wełny jak i włókien łykowych. Dla mat o składzie 25%W/75%Ł dominującymi produktami są gazy pochodzące od rozpadu włókien łykowych.

Ponadto, porównanie sygnałów absorpcyjności zamieszczonych na widmach (Rysunki 80–84) pozwala zauważyć, że intensywność wydzielonych gazów zależy od składu procentowego wytworzonych mat. Większą absorbcją wykazują maty wytworzone z 100% włókien łykowych w porównaniu do mat wytworzonych z 100% włókien wełny.

Tabela 15. Lista zidentyfikowanych związków podczas termicznego rozpadu włókien zawartych w matach.

Nazwa związku	Wzór związku	Grupa funkcyjna	Liczba falowa cm^{-1}	Produkt rozpadu
Woda	H ₂ O	OH	3734	Wełna, włókna łykowe
Dwutlenek węgla	CO ₂	CO ₂	2351-2361; 671	Wełna, włókna łykowe
Tlenek węgla	CO	CO	2182	Włókna łykowe
Kwas octowy	CH ₃ COOH	-CH ₃ OH C=O C-O	2972-2974; 2920-2938 3588-3590 1793; 1769, 1165, 1105	Włókna łykowe
Kwas mrówkowy	CHOOH	-CH OH C=O C-O	2972-2974; 2920-2938 3588-3590 1793; 1769, 1165, 1105; 1080	Włókna łykowe
Metanol	CH ₃ OH	OH C-H C-O	3590 2930, 2861 1165; 1105	Włókna łykowe
Formaldehyd	CH ₂ O	C-HO C=O	2820; 2727 1747	Włókna łykowe
Metan	CH ₄	-CH	3016	Włókna łykowe
Amoniak	NH ₃	-NH	3335, 1626; 965; 932	Wełna
Kwas cyjanowodorowy	HCN	-C-H -C≡N H-CN	3325 2249 714	Wełna
Izotionyjaniany	S=C=N-R	-N=C=S C=S	2073, 2040 1050-1200	Wełna
Amidy	I-rz. RCONH ₂ lub II-rz. R ₂ CONH	N-H C=O N-H	3485 1769-1680 1400-1200	Wełna

Litera R we wzorach powyżej stanowi podstawnik dowolnej grupy alkilowej dla wiązania CH₃ oraz CH₂, których sygnały widoczne są na widmach przy długości fali od 2881 do 2968 cm^{-1} .

6. Podsumowanie

W pracy wykorzystano krajowe surowce naturalne w postaci wełny owczej pochodzącej od ras owiec hodowanych na terenach górskich i podgórskich, która często traktowana jest jako odpad produkcji zwierzęcej, oraz odpadowe włókna łykowe powstające na etapie zgrzeblenia wstępnego i właściwego w procesie przędzenia sznurków lnianych bądź konopnych.

W toku szeregu przeprowadzonych prac dokonano przeglądu i charakterystyki hodowli wybranych stad owiec z terenów górskich i podgórskich z uwzględnieniem rasy, miejsca pochodzenia, wypasu, typu użytkowego, liczności stada oraz częstotliwości strzyży owiec. Wyniki prowadzonego przeglądu wykazały duże zróżnicowanie rasowe owiec o runie mieszanym i jednolitym, różnice w pogłowie owiec w zależności od województwa, a także różnice organizacyjne wypasu. Ponadto wykazano, że stada owiec są niewielkie i dominuje chów rozproszony i drobnostadny, który uniemożliwia pozyskanie dużej ilości wełny z jednej strzyży.

Wełnę pochodzącą od 14 wytypowanych ras owiec o runie mieszanym i jednolitym, poddano badaniom jakości włókna, które obejmowały: ocenę morfologii powierzchni i przekrojów poprzecznych włókien, grubości, długości, higroskopijności, zawartości zanieczyszczeń i substancji tłuszczowych w wełnie potnej jak również ocenę koloru. Wyniki prowadzonych badań wykazały zróżnicowanie grubości włókien w zależności od rasy owiec i okrywy, a także od tych samych ras, ale pochodzących z różnych stad. Ponadto, wykazano duże zróżnicowanie długości wełny zarówno dla włókien pochodzących od ras owiec o runie mieszanym jak i jednolitym. Wełna owcza pochodząca od ras owiec górskich jest wełną grubą i niejednorodną, a jej niska jakość uniemożliwia wykorzystanie tego surowca do przemysłowej produkcji wyrobów odzieżowych. Wyniki badań higroskopijności dowodzą, że wełna potna pochodząca zarówno od ras owiec o runie mieszanym jak i jednolitym, pochłania więcej wilgoci niż wełna prana. Zawartość zanieczyszczeń w wełnie potnej związana jest z warunkami hodowli oraz zależy od ras owiec, przy czym dla ras owiec o runie jednolitym jest mniej zróżnicowana.

W Polsce nie występują owce o runie czystej bieli a występowanie owiec o zabarwieniu runa w odcieniu kremowym jest typowe dla naszych warunków klimatycznych.

Wyniki badań wełny pochodzącej od różnych ras owiec, ze szczególnym uwzględnieniem długości włókien umożliwiające ich łączenie z włóknami odpadowymi łykowymi w procesie wytwarzania włóknin, a także dostępność wełny w ilości pozwalającej na jej przerób w skali przemysłowej, pozwoliły na wytypowanie wełny pochodzącej od Polskiej owcy górskiej z województwa śląskiego do wytworzenia mat mieszankowych z różnym udziałem wełny owczej w stosunku do włókien łykowych odpadowych.

Odpadowe włókna łykowe zbadano w zakresie długości, masy liniowej, zawartości zanieczyszczeń, wytrzymałości i higroskopijności. W wyniku przeprowadzonego procesu mieszania skracania i doczyszczania włókien odpadowych na urządzeniu RCz 120-3 otrzymano znaczną redukcję zanieczyszczeń włókien odpadowych, a także skrócenie i wymieszanie włókien, co pozwoliło na podjęcie prób przerobu tych włókien w mieszance z wełną. Efektem prowadzonych prac było wytworzenie mat o różnym udziale procentowym wełny w stosunku do włókien łykowych. Przeprowadzone prace potwierdziły możliwość łączenia włókien znacznie różniących się strukturą i parametrami, w procesie produkcji technicznych igłowanych mat, z wykorzystaniem urządzeń przemysłowych przeznaczonych typowo do przerobu włókien lnianych i konopnych.

Zgodnie z założonym celem pracy zbadano wpływ udziału włókien wełny i włókien łykowych lnu i konopi w wytworzonych z nich matach na właściwości barierowe mat w zakresie izolacji termicznej i akustycznej.

Skład surowcowy mat ma wyraźny wpływ na przepuszczalność powietrza. Włókna łykowe są gęsto upakowane w strukturze mat w odróżnieniu od włókien wełny, które są sprężyste i tworzą luźniejszą strukturę wyrobu umożliwiając łatwiejszy przepływ powietrza. Stąd maty z wyższym udziałem wełny charakteryzują się wyższą przepuszczalnością powietrza.

W prowadzonych w ramach doktoratu badaniach potwierdzono wpływ składu surowcowego mat na parametry izolacyjności cieplnej, czyli opór cieplny oraz współczynnik przewodzenia ciepła. Maty z wyższym udziałem wełny charakteryzują się wyższą izolacyjnością termiczną w porównaniu z matami z włókien łykowych. Wynika to ze struktury maty, sprężyste włókna wełny gwarantują obecność większych przestrzeni między włóknami, w których zakleszczony jest powietrze zaliczane do bardzo dobrych izolatorów ciepła. Gęsto upakowane włókna łykowe w matach tworzą mniejsze przestrzenie, które są w stanie zakleszczać mniej powietrza, dlatego zarówno współczynnik przewodzenia ciepła jest większy, jak i opór cieplny jest niższy dla mat wytworzonych z włókien łykowych lub z mieszanki przy wyższym ich udziale w stosunku do wełny.

Wytworzone maty o składzie procentowym 50% wełna/50% włókna łykowe oraz 75% wełna/25% włókna łykowe oraz 100% wełna, wykazały najlepsze właściwości barierowe w zakresie izolacyjności cieplnej. Wartości współczynników przewodzenia ciepła λ wytworzonych mat z udziałem wełny zawierają się w przedziale 0,034–0,046 W/m·K co pozwala na zakwalifikowanie wytworzonych mat z udziałem min. 50% wełny do kategorii dobrych izolatorów ciepła. Standardowo używane materiały izolacyjne mają współczynnik λ na poziomie 0,036–0,045 W/(m·K). Materiały o $\lambda \leq 0,035$ W/(m·K) uznaje się za dobrze izolujące

ciepło. Superizolatory to materiały osiągające wartość współczynnika przewodzenia ciepła na poziomie 0,014 W/(m·K).

Wyniki badań zdolności mat do pochłaniania dźwięków pokazały, że wszystkie warianty mat charakteryzują się dobrą zdolnością pochłaniania dźwięków w zakresie średnich i wysokich częstotliwości.

Zdolność pochłaniania dźwięków dla mat wytworzonych z 25% dodatkiem wełny w mieszance z włóknami łykowymi jest większa, niż dla maty wykonanej ze 100% włókien łykowych. Dodatek wełny owczej spowodował wzrost wartości współczynnika redukcji hałasu NRC, tylko w tym przypadku. Mata wytworzona w wariacie 50% wełna/50% włókna łykowe, osiąga wartości współczynnika NRC na równi z matą wykonaną ze 100% włókien łykowych. Dalsze zwiększanie udziału wełny w mieszankach z włóknami łykowymi powoduje zmniejszanie zdolności pochłaniania dźwięku o 6 % dla każdego składu surowcowego.

Analizując wartości parametrów charakteryzujących właściwości barierowe zarówno w zakresie izolacyjności cieplnej jak i zdolności pochłaniania dźwięków badanych w określonym zakresie częstotliwości oraz dla określonych składów surowcowych mat, należy stwierdzić, iż mata o składzie surowcowym 50% włókna łykowe/50% wełna spełnia kryteria barierowości dla obu barier, tzn. osiąga wartości oporu cieplnego oraz współczynnika przewodzenia ciepła kwalifikujące ją do kategorii dobrych izolatorów ciepła, a także materiałów pochłaniających dźwięki i redukujących hałas na poziomie materiałów wygłuszających stosowanych obecnie.

Otrzymane wyniki badań pozwoliły na udowodnienie tezy pracy, która mówi, że wzrost udziału wełny owczej w mieszance z włóknami łykowymi wpływa na obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła oraz na obniżenie zdolności pochłaniania dźwięku mat izolacyjnych wykonanych z tych włókien.

Badania realizowane w ramach doktoratu pozwoliły na wskazanie jego charakteru aplikacyjnego. Dwa rodzaje naturalnych surowców odpadowych w postaci wełny owczej oraz włókien lnu i konopi wykazują względem siebie synergii jeżeli występują jednocześnie jako współkomponenty tworzące strukturę mat. Synergii zaobserwowano w zakresie izolacyjności cieplnej i zdolności pochłaniania dźwięków, gdzie uzyskano poprawę izolacyjności cieplnej maty poprzez udział wełny w mieszance z włóknami łykowymi oraz poprawę dźwiękochłonności mat przez dodanie włókien łykowych do wełny. Wykazano, że obydwa rodzaje surowców odpadowych mogą być cennym surowcem wykorzystywanym do produkcji materiałów służących do izolacji termicznej i akustycznej w budownictwie, mogą znaleźć zastosowanie jako elementy stosowane w przegrodach budowlanych, bądź stanowić bazę dla paneli akustycznych, zastępując powszechnie stosowany w tym zakresie styropian, wełnę mineralną, szklaną i pianki poliuretanowe.

Podczas rozważań nad wykorzystaniem wyników niniejszej pracy doktorskiej w technologiach ocieplania i wygłuszania pomieszczeń z wykorzystaniem wełny owczej i włókien łykowych, należy mieć na uwadze ryzyko rozwoju mikroorganizmów i owadów. Wyniki badań w aspekcie aplikacyjnym wpisują się w strategię „zero waste”, rozwój zrównoważonych technologii oraz strategię European Green Deal.

7. Wnioski

1. W Polsce na terenach górskich i podgórskich występuje duże zróżnicowanie rasowe owiec o różnych typach użytkowych. Dominuje chów drobnostadny i rozproszony. Owce dostarczają wełnę niejednorodną, zróżnicowaną pod względem jakości, która często traktowana jest jako odpad hodowli zwierzęcej i nie nadaje się do wytwarzania wyrobów odzieżowych. Duże zróżnicowanie wełny oraz ograniczona jej ilość utrudnia przetwórstwo.
2. Przeprowadzone prace potwierdziły możliwość łączenia różnych rodzajów włókien o różnych parametrach, wełny owczej i włókien łykowych odpadowych, w procesie produkcji technicznych igłowanych mat, z wykorzystaniem urządzeń przemysłowych przeznaczonych typowo do przerobu włókien lnianych i konopnych.
3. Maty wytworzone z mieszanki odpadowych włókien łykowych i wełny charakteryzują się zróżnicowanymi właściwościami barierowymi w zakresie izolacyjności termicznej i akustycznej, w zależności od procentowego udziału poszczególnych komponentów w mieszance.
4. Najbardziej optymalne wersje mat łączące w sobie zalety włókien wełnianych oraz łykowych, wykazujące dobre właściwości termoizolacyjne, określone współczynnikiem przewodzenia ciepła λ , to maty z 50% i 75% udziałem włókien wełnianych.
5. Składy surowcowe mat, w których udział wełny owczej był na poziomie 50% lub 25% są najbardziej optymalne spośród wszystkich badanych mat pod względem zdolności pochłaniania dźwięków w zakresie średnich i wysokich częstotliwości, określonych współczynnikiem pochłaniania dźwięku α , oraz współczynnikiem redukcji hałasu NRC.
6. Maty o składzie surowcowym 50% wełna/50% włókna łykowe mogą stanowić wielofunkcyjny materiał barierowy zapewniający jednocześnie izolacyjność cieplną oraz pochłanianie dźwięków na wymaganym normami poziomie.

8. Bibliografia

1. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl
2. Pomykała, A., Raczyński, J. (2020). Europejski Zielony Ład dla Unii Europejskiej i jej mieszkańców; tts 12/2020.
3. <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/>
4. https://www.ey.com/pl_pl/business-5-0/europejski-zielony-lad-szansa-czy-zagrozenie
5. Sprawozdanie z postępów działań UE na rzecz klimatu za 2020 r. (2020). Początek drogi do osiągnięcia neutralności klimatycznej w Europie do 2050 r. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:52020DC0777>
6. Russell, I. M. (2009). Wool as a natural renewable fibre. In N.A.G. Johnson and I.M. Russell (Eds.), *Advances in wool technology*, (pp.61-83). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
7. Rippon, J.A., Christoe, J.R., Denning, R.J., Evans, D.J., Huson, M.G, Lamb, P.R, Millington, K.R., Pierlot, A.P. (2016). Encyclopedia of Polymer Science and Technology. *Wool: Structure, Properties, and Processing*. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst402.pub2>
8. IWTO (2019). International Wool Textile Organisation. <https://iwto.org/>
9. Erdogan, U. H., Seki, Y., Selli, F. (2020). Wool fibres. In R. M. Kozłowski & M. Mackiewicz-Talarczyk (Eds.) *Handbook of Natural Fibres 2 nd ed.* UK: Elsevier.
10. GUS (2021). *Fizyczne rozmiary produkcji zwierzęcej w 2020 r.* <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/produkcja-zwierzece-zwierzeta-gospodarskie/fizyczne-rozmiary-produkcji-zwierzecej-w-2020-roku,3,16.html>
11. Patkowska–Sokoła, B. (2000). *Praca zbiorowa. Podstawy chowu i hodowli owiec*. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
12. Rippon, J.A., Evans, D.J. (2021). Improving the properties of natural fibres by chemical treatments. In R. M. Kozłowski (Ed.) *Handbook of Natural Fibres. Volume 2: Processing and applications*. (pp.63-140). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
13. El-Sayed, H.Z., Mowafi, S., El-Kheir, A. A., El-Khatib, E. M. (2018). A Comprehensive Critique on Wool Grease Extraction, Properties and Applications. *Egyptian Journal of Chemistry* 61(6), 1151- 1159. DOI:10.21608/ejchem.2018.4214.1372.
14. Sengupta, A. & Behera, J. (2014). Comprehensive view on chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pre-treatment. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 03(07), 33-43. [https://www.ajer.org/papers/v3\(7\)/F0373343.pdf](https://www.ajer.org/papers/v3(7)/F0373343.pdf)
15. Sójka-Ledakowicz, J., Gajdzicki, B., Machnowski, W., Żyła, R., Lewartowska, J., Grzywacz, K., Strzelecka-Jastrzab, E. (2003). *Charakterystyka technologiczna przemysłu włókienniczego w Unii Europejskiej*. Warszawa Ministerstwo Środowiska http://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/Ekoportal/Pozwolenia_zintegrowane/poradnik_i_branzowe/opracowania/2._Charakterystyka_tehnologiczna_przemyslu_wlokiemmiczego_w_Unii_Europejskiej.pdf
16. Molik, E., & Potocka, A. (2019). Wybrane zagadnienia związane z możliwością wykorzystania wełny owczej. *Przegląd hodowlany*, 3/2019,31-33.
17. Schytte Sigaard, A., Løvbak Berg, L., Grimstad Klepp, I. (2021). *Woolume: Potential new products from vacant wool*. (SIFO PROJECT REPORT 18 2021). Norway: Oslo Metropolitan University.
18. https://www.sciencelearn.org.nz/image_maps/61-wool-fibre-structure-and-properties

19. Skoczylas, A. (1978). *Biologia runa owczego*. Warszawa: PWN.
20. Urbańczyk, G. (1985). *Nauka o włóknie*. Warszawa: WNT.
21. Dankowski, A., Bernacka, H., Janicki, B., Siminska, E. (2005). *Użytkowanie owiec*. Bydgoszcz: Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.
22. PN-P-04604:1972. *Metody badań surowców włókienniczych - Rozpoznawanie włókien*.
23. Kicińska-Jakubowska, A., Kwiatkowska, E., Morales Villavicencio, A., Zimniewska, M., Przybylska, P. (2020). Budowa włókna wełny owczej. *Len i Konopie. Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i Konopi*, 35/2020, 23-26.
24. Grycewicz, H., & Staniszkis, O. (1959). *Wełna*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
25. Niżnikowski, R. (2008). *Hodowla i chów owiec*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
26. <https://www.woolwise.com/> - <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/05/02.1-The-Wool-Fibre-and-its-Applications-Presentation.pdf>
27. Parlato, M. C.M. & Porto, S.M.C. (2020). Organized Framework of Main Possible Applications of Sheep Wool Fibers in Building Components. *Sustainability*, 12(3), 761; doi:10.3390/su12030761
28. Kiyak, E., Akdemir, N., Fesci, H. (2009). The evaluation of the impact of the use of wool in patients with fibromyalgia on life quality. *Australian Journal of Advanced Nursing*, 26(3), 47-52.
29. Broda, J., Gawłowski, A., Rom, M., Laszczak, R., Mitka, A., Przybyło, S., Grybowska-Pietras, J. (2016). Innovative Geotextiles for Reinforcement of Roadside Ditch. *Tekstiles*, 59(2), 115-120.
30. Broda, J., Przybyło, S., Kobiela-Mendrek, K., Biniś, D., Rom, M., Grzybowska-Pietras, J., Laszczak, R. (2016). Biodegradation of sheep wool geotextiles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 31–38. doi:10.1016/j.ibiod.2016.07.012.
31. Gwendolyn, H., Meier, E.J., Waliczek T.M. (2016). The Feasibility of Large-Scale Composting of Waste Wool. In S.S. Muthu & M.A. Gardetti (Eds.), *Green Fashion* (pp. 95-107). Singapore: Springer Science+Business Media.
32. Böhme, M.H, Pinker, I., Grueneberg, H., Herfort, S. (2012). Sheep wool as fertiliser for vegetables and flowers in organic farming, *Acta Horticulturae*, 933(933), 195-202.
33. Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa - Portal Gov.pl (www.gov.pl)
34. Brzyski, P., Barnat-Hunek, D., Suchorab, Z., Łągód, G. (2017). Composite Materials Based on Hemp and Flax for Low-Energy Buildings. *Materials* 10(5), 510. doi:10.3390/ma10050510
35. Zimniewska, M. (2022). Hemp Fibre Properties and Processing Target Textile: A Review. *Materials*. 15(5), 1901. <https://doi.org/10.3390/ma15051901>
36. Reaves A. (2021). Bast Fibers. Available online: <https://pl.pinterest.com/pin/288511919877210521/> (accessed on 15 January 2022)
37. Nykter, M., (2006). Microbial Quality of Hemp (*Cannabis sativa* L.) and Flax (*Linum usitatissimum* L.) from Plants to Thermal Insulation. (Ph. Thesis), University of Helsinki.
38. *Poradnik inżyniera. Włókiennictwo*. (1978). Warszawa: WNT.
39. Kozłowski, R., Mackiewicz-Talarczyk, M. (2012). *Handbook of natural fibres – Vol. 1*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
40. Spychalski, G., Mańkowski, J., Kubacki, A., Kołodziej, J., Cierpucha, W., Pniewska, I., Baraniecki, P., Grabowska, L. (2013). *Technologia uprawy i przetwórstwa konopi włóknistych*. Poznań: Wyd.: Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich.
41. Sharma, S. (1988). Microorganisms in processing of flax. In H.J Rehm, & G. Reed (Eds.), *Biotechnology* (pp. 746-755). Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.

42. Kozłowski, R. (1992). Retting of flax in Poland. In H.S. Sharma & C. Van Sumere (Eds.) *In the biology and processing of flax*. (pp. 251-259). Belfast: M Publications.
43. Kozłowski, R., Mańkowki, J., Kubacki, A. (2004). Efficient Technology for the Production of Decorticated Hemp and Flax Fibres and Linseed as a Raw Material for Different Industries. *Journal of Natural Fibers*, 1 (2), 107-108.
44. Bruce, R. (2009). Post harvest processing. *Biosystems Engineering*, 103, 79–89.
45. Zimniewska, M., Różańska, W., Kicińska-Jakubowska, A., Mańkowski, J., Wiśniewski, M., Dziedziczak, K., Baraniecki, P. (2021). Influence of the hydrodynamic degumming process on the quality of decorticated flax fibers. First Published December 23, 2021, <https://doi.org/10.1177/00405175211056982>
46. Yunlong, J. (2020). *Durability of flax fibre/bio-epoxy sustainable composites for structural Application*, (Rozprawa doktorska). Technischen Universität Hamburg. <https://d-nb.info/1205370765/34>
47. Zimniewska, M. & Krucińska I. (2010). The effect of raw material composition of clothes on selected physiological parameters of human organism. *The Journal of The Textile Institute*, 101, (2), 154-164. <https://doi.org/10.1080/00405000802309568>
48. Mańkowski, J., Kubacki, A., Kołodziej, J. Ekologiczne włókniny na bazie włókna lnianego i konopnego. *Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i Konopi*, 30/2018.
49. Wang, H., Chiang, P.C., Cai, Y., Li, C., Wang, X., Chen, T.L., Wie, S., Huang, Q. (2018). Application of wall and insulation materials on Green building: A review. *Sustainability* 10 (9), 3331.
50. Korjenic, A., Klarić, S., Hadzić, A., Korjenic, S. (2015). Sheep Wool as a Construction Material for Energy Efficiency Improvement. *Energie* 8(6), 5765-5781. <https://doi.org/10.3390/en8065765>
51. www.izosystems.pl
52. Dénes, O., Florea, I., Manea, D.L. (2019). Utilization of Sheep Wool as a Building Material. *Procedia Manuf.* 32, 236–241.
53. Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., Anandjiwala, R.D. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92, 161–169.
54. Jeziorny, A., & Lipp-Symonowicz, B. (1980). *Nauka o włóknach. Skrypt dla szkół wyższych*. Łódź: Politechnika Łódzka.
55. Hegyi, A., Dico, C., Szilagyi, H. (2020). Sheep Wool Thermal Insulating Mattresses Behaviour in the Water Vapours Presence. *Procedia Manufacturing*, 46,410–417.
56. Kymalainen, H.R. & Sjoberg, A.M. (2008). Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations *Building and Environment* 43, 1261–1269. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132307001102?via%3Dihub>
57. Pennacchio, R., Savio, L., Bosia, D., Thiebat, F., Piccablotto, G., Patrucco, A., Fantucci, S. (2017). Fitness: sheep-wool and hemp sustainable insulation panels. *Energy Procedia*, 111, 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.030>
58. www.livesound.pl
59. <https://wełna-mineralna.pl>
60. Asdrubali, F., Schiavoni, S., Horoshenkov, K.V. (2012). A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications. *Building Acoustics*, 19 (4), 283–312.
61. www.komfortciszy.pl
62. Schytte Sigaard, A. & Haugrønning, V. (2021). Woolume:: Mapping the market for acoustic and sound absorbing products made of wool. (SIFO PROJECT REPORT 9 2021). Norway: Oslo Metropolitan University.
63. Broda, J. & Bączek, M. (2019). Acoustic Properties of Multi-Layer Wool Nonwoven Structures. *Journal of Natural Fibers*, 17(93), 1-15. DOI:10.1080/15440478.2019.1584078

64. Mirjalili, S. A., Mohammad-Shahi, M., (2012). Investigation on the acoustic characteristics of multi-layer nonwoven structures. Part 1-multi-layer nonwoven structures with the simple configuration. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 3 (92), 73–77.
65. Mańkowski, J. (2013). Innowacyjna technologia przetwórstwa lnu włóknistego. *Len i Konopie, Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i Konopi*, 21/2013, 13-16.
66. IWTO-12:2012. *Measurement of the mean and distribution of fibre diameter using the Sirolan-Laserscan fibre diameter analyser.*
67. PN-ISO 6989:2000. *Wyznaczanie długości i rozkładu długości włókien odcinkowych (metoda pomiaru pojedynczych włókien).*
68. PN-P-04635:1980. *Badanie higroskopijności płaskich wyrobów włókienniczych w warunkach 65% i 100% wilgotności względnej powietrza.*
69. PN-P-04930/10:90. *Określenie zawartości roślinnych i innych zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w roztworze wodorotlenku sodowego w wełnie potnej.*
70. PN-72/P-04900. *Oznaczanie zawartości substancji tłuszczowych w wełnie potnej.*
71. BN-7511-16:1986. *Metody badań surowców włókienniczych. Włókno lniane i konopne. Wyznaczanie długości.*
72. PN-EN ISO 1973:2011. *Włókna tekstylne. Wyznaczanie masy liniowej. Metoda grawimetryczna i metoda wibroskopowa.*
73. *Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 5 maja 2011 r. w sprawie metody oznaczania procentowej zawartości zanieczyszczeń krótkiego włókna lnianego lub włókna konopnego.*
74. PN-P-04676:1986. *Metody badań surowców włókienniczych. Włókno lniane i konopne. Wyznaczanie wskaźników przy rozciąganiu statycznym.*
75. PN-EN 9073-2:1994. *Tekstyliia. Metody badania włóknin - Część 2: Wyznaczanie grubości.*
76. PN-EN 29073-1:1994. *Tekstyliia. Metody badania włóknin. Wyznaczanie masy powierzchniowej.*
77. PN-EN 29073-3:1994. *Tekstyliia. Metody badania włóknin. Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia.*
78. PN-EN ISO 9237:1998. *Tekstyliia. Wyznaczanie przepuszczalności powietrza wyrobów włókienniczych.*
79. PN-EN ISO 11092:2014-11. *Tekstyliia. Właściwości fizjologiczne. Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty).*
80. PN-EN 12667:2002. *Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określenie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym.*
81. PN-EN ISO 11925-2:2020-09. *Badania reakcji na ogień. Zapalność wyrobów poddawanych bezpośredniemu działaniu płomienia – Część 2: Badanie przy działaniu pojedynczego płomienia.*
82. GUS (2021). *Zwierzęta Gospodarskie w 2020*, ISSN 1230-588X, Warszawa.
83. *Hodowla owiec i kóz w Polsce w roku 2020*. (2021). Warszawa: Polski Związek Owczarski.
84. Paraponiak, P. (2015). *Ekologiczny chów owiec*. Kraków: Instytut Zootechniki.
85. Niżnikowski, R. (2011). *Hodowla, chów i użytkowanie owiec*. Warszawa: Wydawnictwo Wieś Jutra Sp. z.o.o.
86. Kawęcka A., Sikora, J., Kurpiński, J. (2015). *Polskie rodzime rasy owiec. Polska owca pogórza*, Broszura upowszechnieniowa; Nr b-1/2015.
87. Szczepański, W., Czarniewska-Zajęc, S., Milewski, S. (2001). *Hodowla i użytkowanie owiec*. Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego.
88. Solarz, J. (1990). *Owce w Polsce (Sheep breed in Poland)*. Jugosławia: Gorenjski tisk.

89. Shropshire/United Kingdom Breed Data Sheet. Domestic Animal Diversity Information System. Retrieved, 2009.
90. Niżnikowski, R. (1996). *Przydomowy chów owiec*. Warszawa: Multico Oficyna Wydawnicza.
91. Haring, F. (1980). *Hodowla owiec*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
92. Pomianek, B. (2020). Wyzwania rozwojowe rolnictwa obszarów górskich i podgórskich w Polsce oraz sposób ich pokonania. W. Krawczyk (Ed.), *Europejskie rozwiązania strukturalne dla rolnictwa górskiego na tle krajowych oczekiwań i potrzeb*. Kraków: Instytut Zootechniki-PIB.
93. *Polskie rasy zachowawcze. Atlas zwierząt gospodarskich objętych programem ochrony w Polsce*. (2012). Kraków: IZOO.
94. Kawęcka, A. (2009). Hodowla zachowawcza polskiej owcy górskiej odmiany barwnej, *Wiadomości Zootechniczne*, R. XLVII 3, 53–57. https://wz.izoo.krakow.pl/files/WZ_2009_3_art07.pdf
95. Martyniuk, E. (2003). *Zwierzęta gospodarskie - ochrona zasobów genetycznych. Program rolnośrodowiskowy*. Warszawa: Agencja Reklamowo-Wydawnicza Skigraf. https://bagna.pl/images/artykuly_gfx/zwierzeta.pdf
96. Kawęcka A., & Sikora J. (2006). Wyniki oceny wartości użytkowej owiec objętych programem ochrony zasobów genetycznych zwierząt (rocznik 2004). Kraków: Instytut Zootechniki, Zespół Wydawnictw i Poligrafii IŻ-PIB.
97. <http://owce.bioroznorodnosc.izoo.krakow.pl>
98. Kawęcka, A., Krupiński, J., Sikora, J. (2014). Polska owca pogórza – program ochrony zasobów genetycznych zwierząt. *Wiadomości Zootechniczne*, R. LII, 4, 11–17.
99. <http://www.pzow.pl/rasy-owiec.html>
100. Hall, S.J.G., & Henderson, R. (1999). Rare and minority British sheep for meat production: the Shropshire and Ryeland as sires, and the Cotswold and primitive breeds as dams. *Small Ruminant Research*, 35(1), 55-63.
101. Gomringer, K. A. *Owce poradnik pocztukującego hodowcy*. Warszawa: Wydawnictwo Oświatowe DELTA.
102. <http://afs.okstate.edu/breeds/sheep/shropshire/>
103. https://en.wikipedia.org/wiki/Shropshire_sheep
104. Kawęcka, A. (2011). Charakterystyka populacji owiec rasy świniarka. *Wiadomości Zootechniczne*, R. XLIX, 1, 5-10. https://wz.izoo.krakow.pl/files/WZ_2011_1_art02.pdf
105. Kawęcka, A., & Kosiek, A. (2014). Charakterystyka wybranych parametrów wełny współczesnej świniarki. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 10 (3), 39-48.
106. Załuska, J., & Załuska, K., (1985). *Hodowla owiec.*, Zootechnika T.3, Rozdział II. wydanie V, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
107. Baranowski, P. (1998). *Wybrane importowane i krajowe rasy oraz odmiany owiec - historia ich powstania*. Szczecin: Akademia Rolnicza w Szczecinie.
108. Wójcikowska-Soroczyńska, M. (1998). *Hodowla owiec*. Warszawa: Fundacja. Rozwój SGGW.
109. Porter V., Alderson, L., Hall, J.G.S., Sponenberg, D.P. (2016). *Manson's World Encyclopedia of Livestock Breeds and Breeding, 2 Volume Pack*. UK: CPI Group.
110. https://szlakwołoski.eu/app/default/files-module/local/documents/mountain_sheep_farming_under_rozsutec_web.pdf
111. Pecka-Kiełb, E., Kowalewska-Łuczak, E., Czerniawska-Piątkowska, E., Króliczewska, B. (2021). 1FASN, SCD1 and ANXA9 gene polymorphism as genetic predictors of the fatty acid profile of sheep milk. *Scientific Reports*, 23761, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03186-y>

112. Kovács, E., Tempfli, K., Shannon, A., Zenke, P. (2019). Str diversity of a historical sheep breed bottlenecked, the Cikta. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(1), 41-47.
113. Heinz M.N. (2021). Comparison of two Zaupel Sheep descendants, Cikta and Bovec, based on their mtDNA CR sequences. [http://www.huveta.hu/bitstream/handle/10832/3109/heinz_maria_natasha_2022%20\(1\).pdf?sequence=1](http://www.huveta.hu/bitstream/handle/10832/3109/heinz_maria_natasha_2022%20(1).pdf?sequence=1)
114. Kovács, E Mitro, S., Tempfli, K.; Zenke, P.; Maróti-Agóts, Á., Sáfár, L., Papp, Á. B.; Gáspárdy, A. (2017). A specific selection programme is required in the autochthonous Cikta Sheep which is endangered by own frequent ARQ prion haplotype?. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 3 /4 (67), 141-146.
115. https://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/4_Learning_Centre/C_A/PRECISE_COLOR_COMMUNICATION/PCC_2020/PCC_POL_2020.pdf
116. Kicińska-Jakubowska, A., Zimniewska, M., Romanowska, B., Kozłowski, R. (2018). Bank Włókien. *Len i Konopie. Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i Konopi*, 30/2018, 16-24.
117. Kubacki, A. (2011). *Określenie optymalnych poziomów czynników agrotechnicznych w uprawie lnu włóknistego do przerobu na włókno metodą dekortykacji*, (Rozprawa doktorska). Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
118. Różańska, W. (2020). *Innowacyjna metoda osmotycznego pozyskiwania włókien tykowych przeznaczonych do produkcji kompozytów*, (Rozprawa doktorska). Politechnika Łódzka.
119. <http://izolacje-natryskowe-konin.pl/akustyka/>
120. <http://cdn8.pb.smcloud.net/t/files/64/d0/5f/64d05f0600d881c0.pdf>
121. Zimniewska, M., Mańkowski, J., Schmidt-Przewoźna, K., Wesolek, D., Konczewicz, W., Kicińska-Jakubowska, A. (2016). Włókna naturalne- Innowacyjność i tradycja. In M. Burchard-Dziubińska, M. Snycerski (Eds.). *Włókiennictwo nowe rozdanie*. (pp. 29-60). Łódź: Polskie Towarzystwo Ekonomiczne oddział w Łodzi.
122. Ubrańczyk, G.W. (2002). *Fizyka włókna*. Łódź: Politechnika Łódzka.
123. Botha, A.F., & Hunter L. (2010). The measurement of wool fibre properties and their effect on worsted processing performance and product quality. Part 1: The objective measurement of wool fibre properties. *Textile Progress*, 42(4), 227–339.
124. Woźniak, A., Niżnikowski, R., Popielarczyk, D., Strzelec, E. (2007). Charakterystyka grubości wełny mieszanej u polskiej owcy górskiej odmiany barwnej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio EE: Zootechnica*, XXV (1), 52-55.
125. Kulesza, D., Mozga, K., Niżnikowski, R., Strzelec, E., Świątek, M., Ślęzak, M. (2014). Evaluation of thickness and color of wool in primiparas of Żelaźnińska and Corriedale Sheep. *Animal Science*, 53, 37–42.
126. Bernacka, H., Świącicka, N., Naworska, N. (2015). Application of sheep wool in preventing damage caused by deer in young forest plantations. *Acta Sci. Pol. Zootechnica*, 14(4), 5–14.
127. Franck, R.R. (2000). *Bast and other plant fibers*. England: Woodhead Publishing Limited.
128. Salachna, A., Kobiela-Mendrek, K., Kohut, M., Rom, M., Broda, J. The Pastoralism in the Silesian Beskids (South Poland): In the Past and Today. In book: *Sheep Farming*, DOI:10.5772/intechopen.99722
129. Kobiela-Mendrek, K., Bączek, M., Broda, J., Rom, M., Espelien, I., Klepp, I. (2022). Acoustic Performance of Sound Absorbing Materials Produced from Wool of Local Mountain Sheep *Materials*, 15 (9), 3139. <https://doi.org/10.3390/ma15093139>
130. Del Rey, R., Uris, A., Alba, J. Candelas, P. (2017). Characterization of Sheep Wool as a Sustainable Material for Acoustic Applications. *Materials* 10(11), 1277. <https://doi.org/10.3390/ma10111277>
131. Kaynak, E., Ureyen, M., Torsun, M., Koparal, A. S. (2018, April). Investigation of thermal degradation of Wool/PA Blends by TGA and MCC, 8-th International Istanbul Textile Conference (pp. 333-338), ETT 2018.