

Innowacyjne tkaniny odzieżowe z włókien sojowych

Innovative woven fabrics from soybean protein fibres

Małgorzata Matusiak

Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Instytut Architektury Tekstyliów,
Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116, email: małgorzata.matusiak@p.lodz.pl

Streszczenie

Wśród najnowszych tendencji w modzie obserwuje się m. in. zainteresowanie tzw. „zdrowymi” tekstyliami, czyli takimi, które nie wykazują negatywnego oddziaływania na organizm użytkownika. Nowoczesna odzież powstaje niejednokrotnie z tkanin z bambusa, soi, pokrzywy, kukurydzy, alg morskich i innych surowców naturalnych. Nowe rodzaje włókien na bazie polimerów naturalnych są często jeszcze w fazie rozwoju i wymagają szczegółowych badań dotyczących nie tylko technologii ich pozyskiwania, lecz także przerobu w liniowe i płaskie wyroby włókiennicze. Celem niniejszej pracy jest analiza właściwości innowacyjnych tkanin z udziałem włókien sojowych (*SPF – Soybean Protein Fibres*). W ramach pracy wykonano tkaniny z udziałem przędzy z włókien sojowych. Tkaniny poddano badaniom laboratoryjnym w zakresie podstawowych parametrów fizyko-mechanicznych oraz właściwości wpływających na komfort użytkowania odzieży. Uzyskane wyniki wykazały, że nowo opracowane tkaniny charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami użytkowymi i mogą być przedmiotem wdrożenia w przemyśle tekstylnym i odzieżowym.

Summary

Among the newest trends in fashion we can observe interest in so called “healthy” textiles. Modern, fashionable apparel often is manufactured from fabrics made of bamboo, soya, nettle, corn, seaweed and others natural raw materials. New kinds of fibres based on natural polymers are frequently in the development phase and need to be investigated in detail in the range of their properties, a way of exploitation and processing. The aim of presented work is to analyse the properties of innovative woven fabrics containing soybean protein fibres (*SPF*). In the frame of the work the woven fabrics were manufactured with application of the *SPF* yarn. Manufactured fabrics were measured in the range of their basic structural and mechanical parameters as well as the properties influencing the thermo-physiological and utility comfort of clothing usage. Obtained results confirmed that newly elaborated fabrics are characterized by very good utility properties and they can be implemented in textile and clothing industry.

Słowa kluczowe: włókna sojowe, tkaniny, komfort fizjologiczny, właściwości mechaniczne, układalność.

Key words: soybean protein fibres, woven fabrics, physiological comfort, mechanical properties, drapeability.

1. Wprowadzenie

Wśród najnowszych tendencji w modzie obserwuje się m. in. zainteresowanie tzw. „zdrowymi” tekstyliami. Tekstyliami, a zwłaszcza odzieżą, mają bezpośredni kontakt ze skórą przez wiele godzin, dlatego ich oddziaływanie na organizm użytkownika powinno być pozytywne, lub co najmniej neutralne. Nowoczesna odzież powstaje niejednokrotnie z tkanin z bambusa, soi, pokrzywy, kukurydzy, alg morskich i innych surowców naturalnych. Włókna roślinne celulozowe, takie jak: bawełna, len, konopie od wieków wykorzystywane są do produkcji tekstyliów o bardzo

szerokim spektrum zastosowania. Ich technologia jest powszechnie znana i stosowana na całym świecie.

Natomiast nowe rodzaje włókien na bazie polimerów naturalnych są często jeszcze w fazie rozwoju i wymagają szczegółowych badań dotyczących nie tylko technologii ich pozyskiwania, lecz także przerobu w liniowe i płaskie wyroby włókiennicze.

Włókna sojowe (*SPF – Soybean Protein Fibres*) należą do włókien sztucznych. Są one włóknami proteinowymi wytwarzanymi z protein zawartych w ziarnach soi. Włókna sojowe zostały wynalezione przez Henry’ego Forda w 1937 r. i zostały nazwane „wełną sojową”. Henry Ford zastosował włókna sojowe do produkcji ubrań i krawatów, a także tapicerki samochodowej [1].

Włókna sojowe są jedynymi na świecie włóknami proteinowymi pochodzenia roślinnego. Pod względem absorpcji wilgoci łączą one w sobie właściwości

włókien naturalnych i syntetycznych. Ich miękkość, gładkość i połysk dorównuje włóknom kaszmiru. Proces wytwarzania włókien sojowych jest kilkuetapowy. Najpierw proteiny są destylowane z masy sojowej i rafinowane. Następnie pod działaniem środków pomocniczych i enzymów biologicznych zmienia się struktura przestrzenna protein sferycznych i uzyskuje się proteinowy płyn przędzalniczy, z którego wytwarza się włókna o grubości od 0,9 dtex do 3,0 dtex. Włókna sojowe są przędzone na mokro i stabilizowane przez acetylowanie. Po skarbikowaniu i stabilizacji termicznej są cięte na włókna odcinkowe [1, 2].

Właściwości fizyczne włókien sojowych oferowanych przez szwajcarską firmę Swicofil AG Textile Services, wg informacji producenta, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizyczne włókien sojowych oferowanych przez firmę Swicofil AG [1].

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartość
1.	Rozrzut masy liniowej włókien	%	± 10,0
2.	Rozrzut długości włókien	%	± 9,0
3.	Wytrzymałość na rozrywanie	CN/dtex	≥ 2,5
4.	CV siły zrywającej	%	≤ 20
5.	Udział niedocinków	%	≤ 1,00
6.	Liczba karbików na 25 mm	-	≤ 7
7.	Skarbikowanie	%	1,65
8.	Trwałość skarbikowania	%	0,88
9.	Odpężność	%	55,4
10.	Kurczliwość we wrzącej wodzie	%	2,2
11.	Kurczliwość w suchym gorącym powietrzu	%	2,3

Włókna sojowe zawierają 18 aminokwasów neutralnych wobec ludzkiej skóry. Dlatego uważa się, że mają one działanie prozdrowotne [3, 4]. Podczas kontaktu z ludzką skórą aminokwasy z łańcucha proteinowego mogą aktywować proteiny skóry stymulując wydzielanie kolagenu. Wyroby z włókien sojowych zapewniają miękki, przyjemny chwyt, wykazują właściwości barierowe przeciw promieniowaniu UV [5], właściwości antyelektrostatyczne włókien sojowych są porównywalne z jedwabiem naturalnym i lepsze niż włókien syntetycznych.

Włókna sojowe są przyjazne środowisku. Wytwarzane są z tworzywa naturalnego odtwarzalnego, środki

pomocnicze stosowane podczas ich wytwarzania nie są szkodliwe, a same włókna są w pełni degradowalne [1, 2]. Włókna sojowe stosowane są do produkcji różnych rodzajów tekstyliów, zwłaszcza odzieży oraz wyrobów pościelowych. Z uwagi na zdrowotne oddziaływanie włókien sojowych generalną tendencją jest stosowanie ich w wyrobach mających bezpośredni kontakt ze skórą.

Właściwości włókien sojowych oraz sposób ich wytwarzania były przedmiotem badań i publikacji [1 – 7]. Natomiast badania dotyczące produktów włókienniczych z włókien sojowych, przędz, tkanin i dzianin, dotychczas sporadycznie były przedmiotem publikacji [5, 8].

2. Cel i zakres badań

Celem prezentowanych badań jest analiza wybranych właściwości użytkowych innowacyjnych tkanin z udziałem włókien sojowych (*SPF – Soybean Protein Fibres*). W ramach pracy wykonano tkaniny z udziałem włókien sojowych. Badaniom laboratoryjnym poddano przędzę z włókien sojowych zastosowaną do wytworzenia tkanin oraz tkaniny wykończone. Zakres badań tkanin obejmował:

- podstawowe parametry strukturalne,
- siłę zrywającą,
- wydłużenie przy zerwaniu,
- sztywność zginania,
- sztywność wielokierunkową,
- układalność,
- właściwości termoizolacyjne.

3. Materiały i metody badawcze

Do wytworzenia prób tkanin zastosowano przędzę obrączkową o masie liniowej 18,5 tex wytworzoną z włókien sojowych. Przędzę poddano badaniom w zakresie podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych. Wyniki badania przędzy z włókien sojowych przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie uzyskanych wyników trudno jest wnioskować o poziomie jakości badanej przędzy, gdyż brak jest właściwych odnośników. Biorąc pod uwagę fakt, że jest to przędza obrączkowa wyprodukowana z włókien sztucznych odcinkowych systemem bawełniarskim, ocenę poziomu jakości badanej przędzy przeprowadzono w oparciu o dane statystyczne zawarte w Uster® Statistics dla przędzy bawełnianej czesanej. Wyniki oceny przedstawiono w tabeli 3.

Na podstawie przeprowadzonej oceny stwierdzono, że jakość badanej przędzy sojowej o masie liniowej 18,5 tex w zakresie liczby pocienień na 1000 m wg aparatu Uster jest porównywalna do analogicznych przędz bawełnianych czesanych reprezentujących najwyższy światowy poziom jakości, mieszczących się w przedziale 5 % najlepszych przędz danego asortymentu produkowanych w przędzalniach światowych. Natomiast w przypadku współczynnika

zmienności masy liniowej CV Uster oraz liczby nopów na 1000 m jakoś przędzy sojowej odpowiada średniej jakości przędz bawełnianych zastosowanych do porównania. Liczba zgrubień na 1000 m przędzy z włókien sojowych odpowiada poziomowi 25 % wg danych statystycznych zawartych w Uster Statistics.

Dla celów porównawczych w dwóch wariantach tkanin jako wątek zastosowano przędzę bawełnianą obrączkową czesaną o masie liniowej 20 tex. Jakość przędzy bawełnianej była porównywalna z jakością przędzy z włókien sojowych (Tabela 2 i 3). Zgodnie z wynikami wcześniejszych badań [5] do klejenia osnowy zastosowano spieralny środek klejący

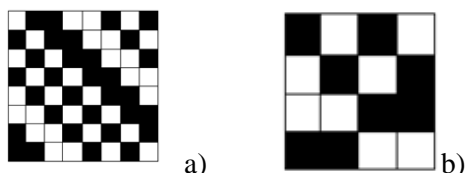
Quelax C 25 S; stężenie klejonki 10 %. Tkaniny zostały wytworzone na jednym krośnie. Było to krosno rapierowe MAV 206; prędkość wątkowania - 180/min. Proces wykończenia tkanin był identyczny dla obu wariantów i obejmował: odklejanie (środek piorący Aquazym 240, Novazymes A/S), dwukrotne płukanie i suszenie. Tkaniny poddano badaniom laboratoryjnym w zakresie podstawowych parametrów fizyko-mechanicznych oraz właściwości wpływających na komfort użytkowania odzież. Badania podstawowych parametrów strukturalnych i mechanicznych wykonano za pomocą metod znormalizowanych.

Tabela 2. Wyniki badania przędzy sojowej 18,5 tex.

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartość	
			SPF	Bawełna
1.	Masa liniowa	tex	18,35	20,10
2.	Współczynnik zmienności masy liniowej	%	0,86	1,31
3.	Wytrzymałość właściwa	cN/tex	17,3	17,4
4.	Współczynnik zmienności siły zerwania	%	8,27	5,70
5.	Wydłużenie przy zerwaniu	%	12,2	6,9
6.	Współczynnik zmienności wydłużenia	%	6,51	6,3
7.	Skręt	obr. m ⁻¹	818	916
8.	Metryczny współczynnik skrętu	-	110,8	129,9
9.	Współczynnik zmienności skrętu	%	5,0	5,0
10.	Włochatość (3 mm) – wg <i>HFT (Hairiness Friction Tester)</i>	-	32,6	-
11.	Tarcie powierzchniowe – wg <i>HFT</i>	-	0,9	-
12.	Wsp. zmienności masy liniowej CV - wg <i>USTER</i>	%	12,7	13,1
13.	Liczba pocienień na 1000 m - wg <i>USTER</i>	-	0,0	0
14.	Liczba zgrubień na 1000 m - wg <i>USTER</i>	-	16,8	22,4
15.	Liczba nopów na 1000 m - wg <i>USTER</i>	-	16,8	33,6

Tabela 3. Ocena poziomu jakości przędzy 18,5 tex SPF wg Uster® Statistic.

Lp.	Parametr	Poziom jakości wg Uster® Statistics	
		SPF	Bawełna
1.	Wsp. zmienności masy liniowej CV Uster	50 %	50%
2.	Liczba pocienień na 1000 m	< 5 %	< 5%
3.	Liczba zgrubień na 1000 m	25	> 25 %
4.	Liczba nopów na 1000 m	< 50 %	< 50 %



Rysunek 1. Wzór splotów tkanin z udziałem włókien sojowych: a) wzór 1, splot skośny wielorzędkowy, b) wzór 2, splot zestawny.

Badania sztywność zginania tkanin przeprowadzono za pomocą metody Pierce'a (metoda stałego kąta) [9]. Sztywność wielokierunkową tkanin wyznaczono za pomocą przyrządu *Digital Pneumatic Stiffness Tester* wg procedury znormalizowanej w normie ASTM [10]. Do pomiaru układalności tkanin zastosowano *Fabric Drape Tester* [11]. Właściwości termoizolacyjne tkanin zostały wyznaczone za pomocą przyrządu Alambeta [12].

4. Uzyskane wyniki i ich analiza

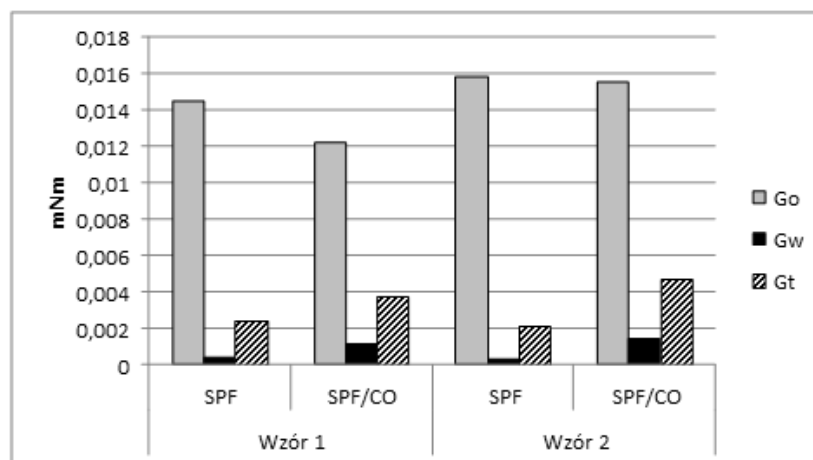
Podstawowe parametry strukturalne tkanin z udziałem włókien sojowych przedstawiono w tabeli 4.

Jak wcześniej wspomniano, tkaniny wytworzono w jednakowych warunkach, na tym samym krośnie, przy tych samych założonych wartościach gęstości osnowy i wątku. Jednakże po procesie wykończenia parametry strukturalne wytworzonych tkanin różnią się. Może to być spowodowane różną relaksacją tkanin po zdjęciu z krosna oraz po procesie wykończenia. W rezultacie tkaniny z wątkiem z przędzy bawełnianej charakteryzują się większą grubością. Z kolei dla tkanin z wątkiem z przędzy z włókien sojowych stwierdzono większą gęstość osnowy w porównaniu do tkanin z wątkiem bawełnianym.

Właściwości mechaniczne tkanin z udziałem włókien sojowych przedstawiono w tabeli 5.

Siła zrywająca tkanin jest zróżnicowana. W kierunku osnowy mieści się w przedziale od 282,92 cN do 379,30 cN. Z uwagi na fakt, że wszystkie warianty tkanin zostały wytworzone na bazie jednej osnowy, przyczyny zróżnicowania wytrzymałości w kierunku osnowy należy upatrywać w zróżnicowanym splocie oraz różnej gęstości osnowy i wątku ukształtowanej po procesie wykończenia tkanin. Odnotowano również istotne zróżnicowanie wytrzymałości tkanin w kierunku wątku. Jednakże nie można tego powiązać z rodzajem przędzy wątkowej, gdyż dla tkanin o splocie skośnym wielorzędkowym (wzór 1) wyższą siłę zrywającą odnotowano dla tkaniny z wątkiem z przędzy z włókien sojowych, natomiast dla tkanin o splocie zestawnym (wzór 2) odnotowana relacja jest odwrotna, tzn. tkanina z wątkiem z włókien sojowych odznacza się niższą siłą zrywającą niż tkanina z wątkiem bawełnianym. Dla wszystkich wariantów tkanin odnotowano bardzo wysokie wydłużenie przy zerwaniu w kierunku wątku. Wynika ono z bardzo dużego wrobienia wątku we wszystkich wariantach tkanin.

Sztywność zginania w kierunku osnowy jest znacznie wyższa od sztywności zginania w kierunku wątku. Dotyczy to wszystkich wariantów tkanin i wynika z bardzo małego wrobienia osnowy, nieprzekraczającego 3%. Sztywność zginania w kierunku wątku tkanin z wątkiem z włókien sojowych jest niższa niż sztywność zginania w kierunku wątku tkanin z wątkiem bawełnianym. Również ogólna sztywność zginania tkanin z wątkiem z włókien sojowych jest mniejsza niż tkanin z wątkiem z przędzy bawełnianej (rys. 2). Podobne relacje odnotowano również w przypadku sztywności wielokierunkowej wyznaczonej za pomocą przyrządu *Digital Pneumatic Stiffness Tester*.



Rysunek 2. Szywność zginania tkanin z udziałem włókien sojowych:

Go – sztywność zginania w kierunku osnowy, **Gw** – sztywność zginania w kierunku wątku, **Gt** – ogólna sztywność zginania

Tabela 4. Podstawowe parametry strukturalne tkanin z udziałem włókien sojowych.

Parametr	Jedn.	Wzór 1		Wzór 2	
		SPF	SPF/CO	SPF	SPF/CO
Masa powierzchniowa	gm ⁻²	1,35	1,29	1,31	1,34
Gęstość osnowy	dm ⁻¹	302	280	302	273
Gęstość wątku	dm ⁻¹	302	303	310	317
Wrobienie osnowy	%	1,4	1,0	2,0	3,0
Wrobienie wątku	%	18,2	17,6	20,2	17,0
Grubość	mm	0,36	0,50	0,39	0,50

Tabela 5. Właściwości mechaniczne badanych tkanin.

Parametr	Jedn.	Wzór 1		Wzór 2	
		SPF	SPF/CO	SPF	SPF/CO
Siła zrywająca w kierunku osnowy	cN	283,56	282,92	372,30	339,44
Siła zrywająca w kierunku wątku	cN	323,36	234,20	297,56	364,48
Wydłużenie przy zerwaniu w kierunku	%	8,93	10,09	11,07	11,01
Wydłużenie przy zerwaniu w kierunku	%	39,04	25,70	36,48	25,64
Sztywność zginania w kierunku osnowy	mNm	0,01448	0,01218	0,01583	0,01552
Sztywność zginania w kierunku wątku	mNm	0,00041	0,00119	0,00029	0,00145
Ogólna sztywność zginania	mNm	0,00242	0,00381	0,00216	0,00476
Sztywność wielokierunkowa	N	1,016	1,044	0,998	1,054

Tabela 6. Właściwości użytkowe badanych tkanin z udziałem włókien sojowych.

Parametr	Jedn.	Wzór 1		Wzór 2	
		SPF	SPF/CO	SPF	SPF/C
Układalność	%	47,3	46,1	48,0	40,9
Przewodność cieplna	W m ⁻¹ K ⁻¹ 10 ⁻³	36,2	37,1	38,1	37,8
Absorpcyjność cieplna	Wm ⁻² s ^{1/2} K ⁻¹	119,0	102,2	132,7	116,3
Opór cieplny	W ⁻¹ Km ² 10 ⁻³	10,1	13,6	10,2	13,2
Przewodność cieplna w stanie mokrym	W m ⁻¹ K ⁻¹ 10 ⁻³	69,9	92,8	-	-
Absorpcyjność cieplna w stanie mokrym	Wm ⁻² s ^{1/2} K ⁻¹	653,3	456,3	-	-
Opór cieplny w stanie mokrym	W ⁻¹ Km ² 10 ⁻³	4,07	5,2	-	-

Właściwości użytkowe tkanin z udziałem włókien sojowych przedstawiono w tabeli 6.

Układalność tkanin z włókien sojowych jest większa niż układalność tkanin sojowo-bawełnianych. Wynika to głównie ze sztywności zginania badanych tkanin. Większą różnicę pod względem układalności pomiędzy tkaniną z wątkiem z włókien sojowych i tkaniną z wątkiem z włókien bawełnianych odnotowano w przypadku tkanin o splocie zestawnym (wzór 2).

Opór cieplny tkanin z wątkiem bawełnianym jest znacznie wyższy niż opór cieplny tkanin z wątkiem z włókien sojowych. Wynika to ze znacznie większej grubości tkanin sojowo-bawełnianych w porównaniu do tkanin w 100 % wykonanych z włókien sojowych.

Absorpcyjność cieplna, zwana także współczynnikiem przyswajania ciepła, jest właściwością charakteryzującą badany materiał z punktu widzenia ciepłego lub zimnego odczucia przy dotyku. Wyższa wartość absorpcyjności cieplnej oznacza, że materiał w momencie kontaktu ze skórą człowieka odczuwany jest jako zimniejszy w dotyku niż materiał charakteryzujący się niższą wartością absorpcyjności cieplnej [13, 14]. Na podstawie uzyskanych wyników (tabela 6) stwierdzono, że tkaniny z włókien sojowych zapewniają chłodniejsze odczucie w momencie kontaktu ze skórą niż tkaniny z wątkiem bawełnianym. Hes [13] zaproponował nową metodę oceny materiałów włókienniczych pod względem ich zdolności do zapewnienia komfortu cieplnego z wykorzystaniem przyrządu Alambeta. Metoda polega na pomiarze absorpcyjności cieplnej w stanie mokrym. Wartość absorpcyjności cieplnej w stanie mokrym powyżej $400 \text{ Wm}^{-2} \text{ s}^{1/2} \text{ K}^{-1}$ oznacza brak komfortu fizjologicznego z powodu nieprzyjemnego odczucia przy kontakcie skóry z wilgotnym materiałem. Badaniu na mokro poddano tylko tkaniny o splocie skośnym. Dla obu tkanin, z wątkiem z włókien sojowych i wątkiem z włókien bawełnianych, wartość absorpcyjności cieplnej na mokro przekroczyła wartość $400 \text{ Wm}^{-2} \text{ s}^{1/2} \text{ K}^{-1}$, co oznacza, że nie zapewniają one komfortu fizjologicznego podczas użytkowania odzieży z tych tkanin w warunkach zwiększonej aktywności fizycznej związanej z intensywnym wydzielaniem potu. Należy także zwrócić uwagę na fakt, że dla tkaniny z wątkiem z przędzy z włókien sojowych uzyskano znacznie wyższą wartość absorpcyjności cieplnej na mokro niż w przypadku tkaniny z wątkiem bawełnianym.

5. Podsumowanie

W oparciu o przeprowadzone badania i uzyskane wyniki, stwierdzono, co następuje:

- przędza obrączkowa tkacka 18,5 tex z włókien sojowych (SPF 100%) zastosowana w badaniach charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami jakościowymi oraz technologicznymi,

porównywalnymi w parametrami wysokiej jakości przędz bawełnianych obrączkowych czesanych,

- zastosowanie przędzy z włókien sojowych w osnowie i wątku nie spowodowało zakłóceń procesów przygotowania osnowy i tkania,
- do klejenia przędzy z włókien sojowych mogą być zastosowane środki klejące stosowane do klejenia przędz bawełnianych,
- tkaniny z włókien sojowych odznaczają się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, porównywalnymi z właściwościami tkanin bawełnianych o zbliżonej strukturze,
- tkaniny z włókien sojowych odznaczają się gładkością powierzchni, małą sztywnością oraz miękkim i przyjemnym chwytem,
- właściwości termoizolacyjne tkanin z włókien sojowych są porównywalne z właściwościami tkanin sojowo-bawełnianych.

6. Bibliografia

1. http://euroflax.com/products_imports%20of_textiles.htm.
2. <http://www.swicofil.com/soybeanproteinfiber.html#Introduction>.
3. Rijavec T., Zupin Ž., Soybean Protein Fibres (SPF), chapter in: Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products, edited by Krezhova D., InTech 2011, pp. 501 – 22.
4. Li Yi-you, The Soybean Protein Fibre - A Healthy & Comfortable Fibre for the 21st Century, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2004, Vol. 12, No. 2 (46), pp. 8–9.
5. Matusiak M., Sikorski K., Rymarz T., Kuchcińska L., Application of Soybean Protein Fibers in Woven Fabrics, Proceedings of the 14th International Conference on Structure and Structural Mechanics of Textiles STRUTEX 2007, Liberec (Czech Republic).
6. Kelley J.J., Pressey R., Studies with Soybean Protein and Fiber Formation, chapter in: Soybean Protein & Fiber Formation Vol. 43, 1966, pp. 195 – 206.
7. Zhang Y., Ghasemzadeh S., Kotliar A.M., Kumar S., Presnell S., Williams I.D., Fibers from Soybean Protein and Poly(vinyl alcohol), Journal of Applied Polymer Science, Vol. 71, 1999, pp. 11 – 19.
8. Yılmaz D., Karaboyacı M., Kılıç H., Kitapçı K., Yelkovan S. Comparison of Selected Properties of Eco-Friendly Soybean and Other Fibres, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2015; 23, 3(111): 14-24.
9. Polska Norma PN – PN-P-04631:1973 Tekstyliia. Wyznaczanie sztywności zginania

10. ASTM D 4032 – 08 (2012), Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure.
11. PN- 73/P- 04736 Metody badań wyrobów włókienniczych. Tkaniny. Wyznaczanie układalności.
12. Internal Standard No. 23-204-02/01, “Measurement of the thermal properties by Alambeta device”, Technical University of Liberec (2001).
13. Hes L., Araujo M., Djulay V., Effect of Mutual Bonding of Textile Layers on Thermal Insulation and Thermal Contact Properties of Fabric Assemblies, Textile Research Journal 66, (1996), p. 245.
14. Matusiak M., Ciepłochronność tkanin odzieżowych. Monografia, Prace Instytutu Włókiennictwa – Wydanie specjalne, Instytut włókiennictwa , Łódź 2011, ISBN 978-83-911544-7-2.