

Małgorzata MATUSIAK, Anetta WALAWSKA, Jerzy ANDRYSIAK

INSTYTUT WŁÓKIENICTWA,
ul. Brzezińska 5/15, 92-103 Łódź

Badania nad wykorzystaniem spektrofotometru do pomiaru koloru i klasyfikacji bawełny

Dr inż. Małgorzata MATUSIAK

Jest adiunktem w Instytucie Włókiennictwa, kierownikiem Zakładu Naukowego Technologii Kompozytów Włókienniczych. Z wykształcenia jest włókiennikiem, specjalistą w zakresie mechanicznej technologii włókna. Główne obszary zainteresowania to przędzalnictwo włókien odcinkowych, metrologia włókiennicza, modelowanie właściwości wyrobów włókienniczych oraz komfort fizjologiczno-termiczny użytkowania tekstyliów.



e-mail: malgorzata.matusiak@iw.lodz.pl

Dr inż. Anetta WALAWSKA

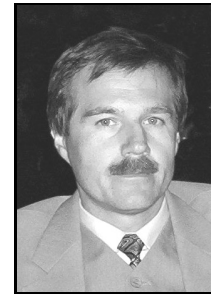
Ukończyła studia na Wydziale Włókienniczym Politechniki Łódzkiej w 1994 roku. W roku 2003 uzyskała tytuł doktora nauk technicznych w dziedzinie włókiennictwa. Jest adiunktem w Zakładzie Naukowym Chemii Włókienniczej i Modyfikacji Wyrobów Instytutu Włókiennictwa. Specjalność - chemiczna obróbka wyrobów włókienniczych.



e-mail: awalawska@iw.lodz.pl

Mgr inż. Jerzy ANDRYSIAK

Jest asystentem w Instytucie Włókiennictwa, zastępcą kierownika Laboratorium Badań Surowców i Wyrobów Włókienniczych. Z wykształcenia jest włókiennikiem, specjalistą w zakresie metrologii włókienniczej. Główne obszary zainteresowania to metrologia włókiennicza, zaawansowane materiały włókiennicze i textronika.



e-mail: andrysiak@iw.lodz.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania nad możliwością wykorzystania spektrofotometru w pomiarach koloru i klasyfikacji bawełny. Dotychczas kolor bawełny jest oceniany za pomocą linii HVI (High Volume Instrument). Współrzędne barwy: współczynnik odbicia światła (Rd) i stopień żółcenia (+b) wg HVI są specyficzne dla bawełny, natomiast nie stosuje się ich do oceny barwy innych materiałów. Tymczasem na całym świecie w pomiarach barwy stosowane są składowe barwy w trójwymiarowej przestrzeni barwowej CIELab. Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie równań regresji, które umożliwiają obliczanie wskaźników (Rd) i (+b) w oparciu o wartości współrzędnych barwy L^* i b^* otrzymane za pomocą spektrofotometru.

Słowa kluczowe: bawełna, barwa, pomiary, linia HVI, spektrofotometr.

Use of a spectrophotometer for colour measurements and classification of cotton

Abstract

The colour grade of cotton is determined by a degree of the reflectance (Rd) and yellowness (+b). These parameters are instrumentally measured by the HVI. Both (Rd) and (+b) are specific for cotton, whereas all over the world colour assessment is performed in the globally recognized CIE $L^*a^*b^*$ colour system. The aim of this work was to analyse application of a spectrophotometer for cotton colour assessment and colour grading. 48 cotton samples of different origin were measured in the range of their colour parameters by means of both HVI and spectrophotometer Datacolor 650. Regression analysis carried out on a basis of the experimental data allowed determining equations which enabled calculation of (Rd) and (+b) parameters on a basis of the L^* and b^* results obtained from the spectrophotometer. Experimental verification based on 34 cotton samples different than those used for the model building confirmed the good quality of predicting the values of the (Rd) and (+b) parameters by means of the elaborated regression equations.

Keywords: cotton, color, measurement, HVI, spectrophotometer.

1. Wprowadzenie

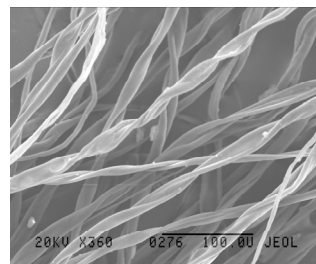
Włókna bawełny, jako włókna naturalne pochodzenia roślinnego, charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem wszystkich cech

jakościowych. Zróżnicowanie to wynika z wielu czynników związanych zarówno z odmianą botaniczną rośliny zwanej bawełnicą, jak również z warunkami uprawy i zbioru [1, 2].

Jedną z podstawowych właściwości włókien bawełny jest kolor. W normalnych warunkach uprawy typowe włókna bawełny mają kolor biały. Jednakże szereg czynników powoduje znaczne zróżnicowanie koloru włókien, głównie w zakresie odcieni bieli i szarości, lecz także żółci czy brązu. Za najważniejsze czynniki wpływające na kolor bawełny uważa się [3]: zanieczyszczenie, geometrię włókien, wrodzony kolor włókien oraz nabyty kolor włókien.

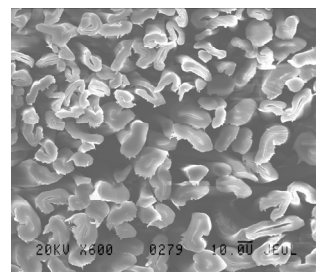
Zmiany odbicia światła na skutek zawartości zanieczyszczeń nie są zbyt istotne, niemniej jednak są większe dla bawełn reprezentujących niższe klasy jakościowe w porównaniu do bawełn wyższej jakości [3]. Badania [4] wykazały, że wraz ze wzrostem zawartości zanieczyszczeń maleje średnia wartość odbicia światła (Rd) – parametru charakteryzującego kolor bawełny.

Na kolor bawełny wpływa geometria włókien, głównie ich skręt (rys. 1) oraz kształt przekroju poprzecznego (rys. 2). Kształt ten jest najczęściej wyrażany tzw. współczynnikiem kołowości.



Rys. 1. Mikroskopowy obraz włókien bawełny

Fig. 1. Microscopic picture of cotton fibers



Rys. 2. Mikroskopowy obraz przekrojów poprzecznych włókien bawełny

Fig. 2. Microscopic picture of cotton fiber cross-sections

Schunck [5] stwierdził, że za kolor włókien odpowiedzialne są dwa komponenty zawierające azot – jeden rozpuszczalny w alkoholu, drugi – nierozpuszczalny. W 1921 r. pojawiła się teoria mówiąca, że za kolor włókien odpowiedzialne są flawonidy -

pomarańczowo-żółte pigmenty [6]. Kolor włókien zmienia się w wyniku procesów następujących po pęknięciu torebek nasieniowych i wydobyciu się włókien na zewnątrz [3]. Odnotowano zmiany koloru wywołane oddziaływaniem światła dziennego na skutek długotrwałego przebywania włókien na polu. Inne czynniki zewnętrzne powodujące zmianę koloru włókien to temperatura oraz wilgotność podczas magazynowania, wstępnego oczyszczenia i odziarniania włókien. Powyższe czynniki sprawiają, że do przędzalni trafiają włókna bawełny o zabarwieniu od kremowo – białego, poprzez różne odcienie bieli i szarości, na żółtym i żółto-brązowym kończąc. Należy nadmienić, że występuje także bawełna, której włókna mają kolor inny niż biały, najczęściej brązowy lub zielony w różnych odcieniach. Kolor bawełny wynika z naturalnej pigmentacji włókien. Bawełna naturalnie zabarwiona uprawiana jest w wielu krajach, m.in.: USA, Turcji, Grecji, Brazylii, Peru, jednakże jest to surowiec niszowy [7, 8].

2. Metody oceny koloru bawełny

Ocena koloru włókien bawełny odgrywa bardzo ważną rolę nie tylko przy określaniu klasy jakości surowców bawełnianych, lecz także przy zestawianiu mieszanek surowca do produkcji przędzy bawełnianych. Niewłaściwie dobrany kolor wprowadzanych składników mieszanki może być przyczyną odcieni w przędzy, a w konsekwencji pasiastości i nierównomierności wybarwień tkanin i dzianin wytwarzanych z tej przędzy.

Tradycyjnie w praktyce przemysłowej przy doborze poszczególnych składników do zestawiania mieszanki produkcyjnej ocena koloru bawełny dokonywana jest organoleptycznie przez wykwalifikowanych klasyfikatorów bawełny [1, 2]. Porównują oni wygląd ocenianej bawełny, jej kolor, zanieczyszczenie i tzw. przyrządzenie z wyglądem bawełny standardowej zawartej w pudełkach wzorcowych.

Ocena organoleptyczna koloru bawełny odbywa się w pomieszczeniach o ściśle określonych warunkach:

- szare ściany,
- natężenie oświetlenia do 1200 lx,
- bawełna ułożona na czarnym blacie.

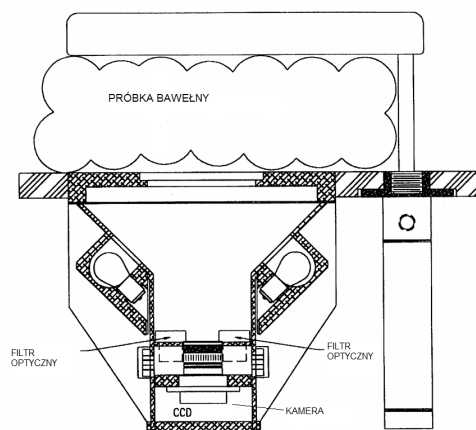
Organoleptyczna ocena koloru bawełny obarczona jest subiektywizmem. Ponadto uniemożliwia wychwycenie niewielkich różnic koloru, które w surowcu są niewidoczne lub są słabo widoczne gołym okiem, jednak uwidaczniają się w przędzy oraz tkaninach i dzianinach stanowiąc ich wadę.

W latach 70 pomiar barwy bawełny został zinstrumentalizowany. Współrzędne koloru włókien bawełny wyznacza się za pomocą linii HVI (High Volume Instrument). Jest to automatyczna linia pomiarowa, służąca do kompleksowej oceny bawełny. Za pomocą linii HVI wykonuje się pomiary: długości włókien, nierównomierności długości włókien, współczynnika Micronaire, będącego miarą grubości i dojrzałości włókien, wytrzymałości na rozrywanie i wydłużenia zrywającego, zanieczyszczenia bawełny oraz koloru. Linia HVI wyposażona jest w kolorometr, za pomocą którego wyznacza się dwa wskaźniki charakteryzujące kolor bawełny: stopień zażółcenia (+b) i współczynnik odbicia światła (Rd).

Przy ocenie koloru bawełny za pomocą automatycznej linii HVI światło, którego źródłem jest lampa ksenonowa, pada na okienko pomiarowe o wymiarach 2,8 x 3,6 cala (rys. 3) [1, 4]. Dwa źródła światła ułożone są pod kątem 45° w stosunku do powierzchni mierzonej, co jest zgodne z postanowieniami normy ASTM [9]. W celu pomiaru koloru bawełny próbka umieszczana jest na powierzchni okna pomiarowego i dociskana pod określonym ciśnieniem. Ciśnienie jest niezbędne do wyeliminowania wpływu sposobu przygotowania próbki na wyniki pomiaru. Światło odbijane jest od powierzchni próbki i przechodzi przez dwa filtry interferencyjne. Odbite światło mierzone jest przez dwa oddzielne detektory.

Na podstawie sygnałów z detektorów obliczane są wartości współrzędnych barwy: stopnia zażółcenia (+b) i współczynnika odbicia światła (Rd). Odbicie światła (Rd) odzwierciedla jasność (połysk, szarość) włókien bawełny, natomiast zażółcenie (+b) odpowiada zażółceniu badanej próbki. Oba parametry są kryte-

riami oficjalnej klasyfikacji bawełny w Stanach Zjednoczonych, będących wiodącym światowym producentem i eksporterem bawełny [1, 2].



Rys. 3. Zasada pomiaru koloru bawełny za pomocą linii HVI [7]
Fig. 3. Principle of cotton colour measurement by the HVI [7]

Określenie klasy koloru bawełny następuje poprzez umieszczenie punktu o współrzędnych (Rd) i (+b) na diagramie Nickerson-Huntera, który jest przechowywany w pamięci komputera linii HVI, dzięki czemu klasa koloru bawełny może być automatycznie generowana na podstawie pomiaru.

Do instrumentalnej oceny koloru bawełny stosowane są także inne przyrządy pomiarowe, np. IsoTester (Schafner Technologies, Inc., USA) oraz FQT/FibroLab (Lintronics Ltd, Izrael). Oba przyrządy pomiarowe nie są rozpowszechnione w świecie. Iso Tester stosowany jest w USA, głównie w odziarniach. FQT występuje w Izraelu i krajach afrykańskich i nie jest już produkowany z powodu upadłości firmy Lintronics. W świecie najbardziej rozpowszechniona jest linia automatyczna HVI, produkowana w USA (Uster Technologies AG) i w Indiach (Premier).

Współrzędne barwy: (Rd) i (+b), wyznaczone za pomocą linii HVI, są specyficzne dla bawełny, natomiast nie stosuje się ich do oceny barwy innych materiałów. Na całym świecie w ocenie barwy stosowane są składowe barwy w trójwymiarowej przestrzeni barwowej CIELab, charakteryzującej się trzema parametrami: L^* - reprezentujący jasność, a^* - składowa barwy reprezentująca zakres od czerwieni do zieleni oraz b^* - składowa barwy reprezentuje zakres od żółtego do niebieskiego. Jest to najbardziej popularna, znormalizowana przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową (Commission Internationale de l'Eclairage – CIE) przestrzeń barwowa, wykorzystywana w pomiarach kolorymetrycznych i spektrofotometrycznych. Przestrzeń CIELab stanowi modyfikację przestrzeni barw L, a, b , stworzonej przez Huntera w 1948 roku i jest matematyczną transformacją przestrzeni CIEXYZ [10].

W świecie podejmowane były już próby wykorzystania spektrofotometru, zarówno do poprawy jakości pomiaru koloru bawełny za pomocą linii HVI, jak również bezpośrednio do oceny koloru bawełny. W USDA/AMS (United States Department of Agriculture/Agricultural Marketing Service) prowadzone są badania zmierzające do wykorzystania spektrofotometru do poprawy precyzji pomiaru koloru bawełny za pomocą HVI. Ustalono zostały wartości współrzędnych koloru dla płytek wzorcowych używanych do kalibracji standardów koloru bawełny. Obecnie prace zmierzają do opracowania metody pomiaru barwy standardów fizycznych bawełny bezpośrednio za pomocą spektrofotometru [11]. Shofner i in. [12] badali wpływ procedury pomiaru, zwłaszcza zastosowania oraz rodzaju szkła, na wartości współrzędnych barwy wg spektrofotometru. Przeprowadzone badania wykazały, że wpływ zastosowania szkła na wyniki pomiaru (glas effect) jest istotny, nieliniowy oraz zależny od typu spektrofotometru.

Rogers i inni [13, 14] przeprowadzili badania porównawcze pomiaru koloru za pomocą 8 różnych spektrofotometrów: 4 stacjonarnych i 4 przenośnych. Badania wykazały wpływ procedury

pomiaru i typu spektrofotometru na uzyskiwane wyniki. Największą zgodność stwierdzono pomiędzy wynikami ze spektrofotometrów stacjonarnych, niższą – ze spektrofotometrów przenośnych, w obu przypadkach przy pomiarze bez szkła. Zastosowanie szkła istotnie wpływało na wyniki pomiarów za pomocą spektrofotometrów oraz na różnice barwy ΔE pomiędzy wynikami

3. Przebieg badań

Celem prezentowanych badań była analiza możliwości zastosowania spektrofotometru do oceny koloru bawełny i klasyfikacji jakościowej bawełny. Zakres prac obejmował:

- pomiar barwy bawełny za pomocą automatycznej linii HVI,
- badania barwy bawełny za pomocą spektrofotometru Datacolor 650 – wyznaczenie współrzędnych barwy w skali CIELab,
- analizę zależności pomiędzy wynikami pomiaru barwy bawełny uzyskanymi za pomocą spektrofotometru i linii HVI.

Za pomocą linii HVI wyznaczono: stopień zażółcenia (+b) oraz współczynnik odbicia światła (Rd). Wg deklaracji producenta linii HVI zastosowanej w badaniach tolerancja pomiaru obu parametrów wynosi ± 1 .

Barwę badanych prób bawełny surowej zmierzono także za pomocą spektrofotometru Datacolor 650 o geometrii pomiarowej d/8, wyposażonego w system oceny barwy Datacolor TOOLSTM. Pomiary wykonano dla obserwatora 10° oraz iluminatów: D65, A i F2, stosując przesłonę z dużą szczeliną pomiarową (LAV).

W celu wykonania badań za pomocą spektrofotometru z każdej marki bawełny surowej pobierano próbki o masie około 10 g, w których włókna ułożone były statystycznie przypadkowo. Dla każdej próbki wykonano po 10 pomiarów w różnych jej miejscach. W trakcie poszczególnych pomiarów mierzono wartości jasności (L^*) oraz składowych barwy: a^* (mówiącej o położeniu barwy na osi czerwień - zieleń) i b^* (mówiącej o położeniu barwy na osi żółcień - błękit) [10].

Badania wykonano dla 48 prób bawełny zróżnicowanych pod względem pochodzenia, sposobu odziarniania i klasy koloru bawełny. Analiza statystyczna wyników badań wykonana została z wykorzystaniem narzędzi statystycznych dostępnych w module programu STATISTICA wersja 7.1: analiza korelacji i regresji.

4. Uzyskane wyniki i ich analiza

W celu ustalenia zależności pomiędzy wynikami pomiaru parametrów barwy bawełny otrzymanymi za pomocą linii HVI oraz spektrofotometru Datacolor 650 wykonano analizę korelacyjną. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono w tabeli 1.

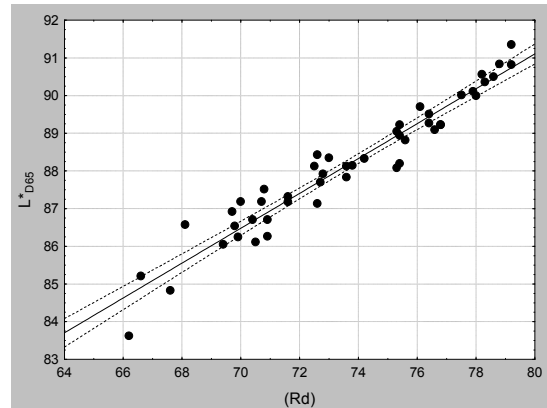
Tab. 1. Wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy wynikami uzyskanymi za pomocą linii HVI i spektrofotometru Datacolor 650

Tab. 1. Correlation coefficient between the results obtained from HVI and spectrophotometer Datacolor 650

	(Rd)			(+b)		
	D65	A	F2	D65	A	F2
L^*	0,97	0,97	0,97	0,36	0,39	0,38
a^*	-0,29	0,11	0,28	0,42	0,70	0,40
b^*	0,41	0,40	0,41	0,74	0,74	0,74

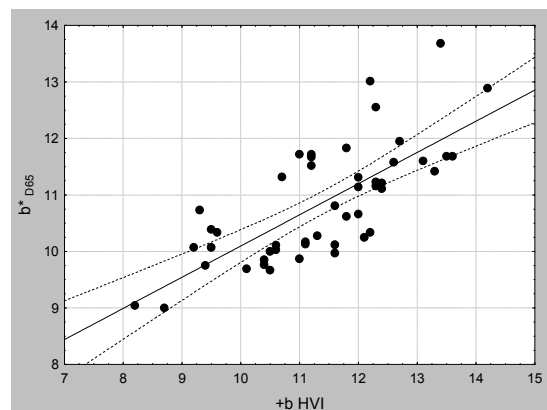
Na podstawie uzyskanych wartości współczynników korelacji liniowej stwierdzono, że występuje bardzo silna zależność korelacyjna ($R_{x,y} = 0,97$) pomiędzy współczynnikiem odbicia światła (Rd) wg linii HVI, a jasnością L^* wg spektrofotometru (rys. 4). Stwierdzona zależność jest jednakowo silna przy wszystkich zastosowanych iluminatach: D 65, A, F2. Stopień zażółcenia (+b) wg linii HVI jest najsilniej skorelowany ze składową barwy b^* wg spektrofotometru (rys. 5).

Na podstawie uzyskanych wyników badań dla wybranych parametrów wyznaczono równania regresji przyporządkowujące wartościom współrzędnych barwy otrzymanych za pomocą spektrofotometru Datacolor 650 wartości współrzędnych barwy uzyskiwanych za pomocą linii HVI.



Rys. 4. Zależność pomiędzy (Rd) wg HVI i L^* wg spektrofotometru

Fig. 4. Relationship between (Rd) from HVI and L^* from spectrophotometer



Rys. 5. Zależność pomiędzy (+b) wg HVI i b^* wg spektrofotometru

Fig. 5. Relationship between (+b) from HVI and b^* from spectrophotometer

Analizę regresji wykonano dla par współrzędnych, dla których stwierdzono najsilniejszą zależność korelacyjną, tj. odpowiednio: $L^* \rightarrow (Rd)$ oraz $b^* \rightarrow (+b)$. Ponadto przyjęto, że w przypadku spektrofotometru zastosowane zostaną wyniki uzyskiwane przy iluminacie D 65, który jest odpowiednikiem światła dziennego. A właśnie przy świetle dziennym dokonywana jest ocena organoleptyczna i oparta na niej klasyfikacja bawełn. Wyznaczone równania regresji przedstawiono poniżej:

$$(Rd) = 2,016 \cdot L^*_{D65} - 104,1 \quad (1)$$

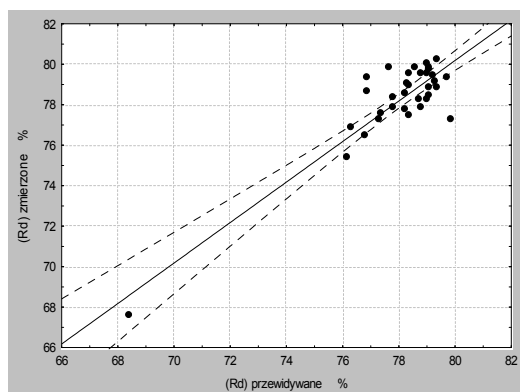
$$(+b) = 0,9827 \cdot b^*_{D65} + 0,7 \quad (2)$$

Równania (1) i (2) pozwalają obliczyć przewidywane wartości współrzędnych barwy wg HVI, tj. (Rd) i (+b) w oparciu o wyniki otrzymane za pomocą spektrofotometru Datacolor 650. Nie można na tym etapie badań stwierdzić, czy wyznaczone zależności mają zastosowanie do wyników otrzymanych za pomocą spektrofotometrów innego typu. Niezbędne są dalsze badania w tym zakresie.

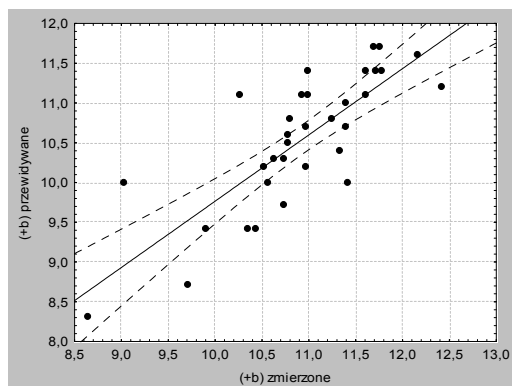
5. Weryfikacja eksperymentalna wyznaczonych równań regresji

W celu zweryfikowania wyznaczonych równań regresji wykonano badania dla kolejnej grupy losowo wybranych 34 bawełn różnego pochodzenia. Były to inne bawełny, niż te, na podstawie których wyznaczono równania regresji. Bawełny poddano badaniom za pomocą spektrofotometru i linii HVI. Wykorzystując wyznaczone równania regresji w oparciu o wyniki uzyskane za pomocą spektrofotometru dla każdej próbki bawełny obliczono przewidywane wartości współczynnika odbicia światła (Rd)

i stopnia zażółcenia (+b). Obliczone przewidywane wartości współczynnika odbicia światła (Rd) i stopnia zażółcenia (+b) oraz zmierzone wartości tych parametrów przedstawiono na rys. 7 i 8. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono silną zależność korelacyjną pomiędzy wynikami przewidywanymi i zmierzonymi. Wyższą wartość współczynnika korelacji liniowej ($R_{x,y} = 0,88$) pomiędzy wartościami przewidywanymi i zmierzonymi odnotowano dla współczynnika odbicia światła (Rd) w porównaniu do wartości współczynnika korelacji pomiędzy wartościami zmierzonymi i przewidywanymi dla stopnia zażółcenia (+b) - $R_{x,y} = 0,78$.



Rys. 6. Przewidywane i zmierzone wartości współczynnika odbicia światła (Rd)
Fig. 6. Predicted and measured values of the reflectance (Rd)



Rys. 7. Przewidywane i zmierzone wartości stopnia zażółcenia (+b)
Fig. 7. Predicted and measured values of the yellowness (+b)

Na podstawie przewidywanych wartości współczynnika odbicia światła (Rd) i stopnia zażółcenia (+b) dokonano klasyfikacji jakościowej badanych próbek bawełny zgodnie z Uniwersalnymi Standardami klasyfikacji bawełny [2]. Bawełny te sklasyfikowano również za pomocą linii HVI, a następnie porównano wyniki obu klasyfikacji. Całkowitą zgodność klasyfikacji w oparciu o wyniki ze spektrofotometru i linii HVI stwierdzono w 18 przypadkach na 34, co stanowiło 52,9 % ogółu dokonanych ocen. Jest to wynik zadowalający, gdyż wcześniejsze badania [15] wykazały, że między poszczególnymi liniami HVI zgodność klasyfikacji nie jest istotnie wyższa i kształtuje się na poziomie 60 - 70 %.

Klasyfikację, w której bawełny zostały zakwalifikowane do klas sąsiednich – bezpośrednio ze sobą graniczących na wykresie Nickerson-Huntera – stwierdzono w 13 przypadkach, co stanowiło 30 % ogółu ocen. Tylko w 3 przypadkach na 34 klasyfikacja bawełn oparta o wyniki uzyskane za pomocą spektrofotometru różniła się więcej niż o jedną klasę od klasyfikacji za pomocą linii HVI. W sytuacji różnych ocen najczęściej wystąpiły przypadki, w których bawełna zaklasyfikowana za pomocą linii HVI jako biała (White), w oparciu o wyniki ze spektrofotometru uznana została za lekko plamistą (Light Spotted). Wystąpił tu klasyczny efekt brzegowy, opisany w literaturze [16].

6. Podsumowanie

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, co następuje:

- potwierdzona została, stwierdzona w ramach wcześniejszych badań [1], bardzo silna zależność korelacyjna ($R_{x,y} = 0,97$) pomiędzy współczynnikiem odbicia światła (Rd) wg linii HVI, a jasnością L^* wg spektrofotometru; stwierdzona zależność jest jednakowo silna przy wszystkich iluminatach zastosowanych w badaniach: D65, A, F2,
- stopień zażółcenia (+b) wg linii HVI jest najsilniej skorelowany ze składową barwy b^* wyznaczoną za pomocą spektrofotometru; $R_{x,y} = 0,74$,
- wyznaczone równania regresji pozwalają obliczyć przewidywane wartości współrzędnych barwy (Rd) i (+b) bawełny w oparciu o wartości parametrów: L^* i b^* otrzymywane za pomocą spektrofotometru Datacolor 650,
- całkowitą zgodność klasyfikacji bawełny do klas koloru w oparciu o wyniki ze spektrofotometru i linii HVI stwierdzono w ponad 50 % ogółu dokonanych ocen,
- w 30 % ogółu ocen bawełny zostały zakwalifikowane do klas sąsiednich – bezpośrednio ze sobą graniczących na wykresie Nickerson-Huntera,
- niezbędne są dalsze badania w celu stwierdzenia, czy wyznaczone równania mogą być wykorzystane do przewidywania współrzędnych barwy bawełny: (Rd) i (+b) w oparciu o wyniki otrzymywane za pomocą spektrofotometrów innego typu niż zastosowany w badaniach.

7. Literatura

- [1] Matusiak M., Walawska A.: Important Aspects of Cotton Color Measurement, *Fibres & Textiles in Easter Europe*, Vol. 80, Issue 3, 2010.
- [2] Frydrych I.: Bawełna – systemy i metody oceny, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2005.
- [3] Simon A., Harmon C.: Color in Cotton, *Textile Research Journal*, 1/1954.
- [4] Ghorashi H.: Influence of Trash on HVI Color Measurement, ITMF Task Force on Color Meeting, Brema 2008.
- [5] Schunck, *Chemical News*, 118 1868.
- [6] Oparin A., Rogowin A.: Study of the Nature of Cotton Pigments, *Melliand Textileberichte* 11, 1930.
- [7] Matusiak M.: Properties of Naturally Colored Cotton of Different Origin, *Texsci'2007*, Liberec Czechy 2007.
- [8] Matusiak M.: Naturally Colored Cotton – Limitations and Possibilities of Application, rozdział książki pt. "Natural Fibres – Their Attractiveness in Multi – Directional Applications", Gdynia 2009.
- [9] Norma amerykańska ASTM D 1729, Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials, 1996.
- [10] Mielicki J.: Zarys wiadomości o barwie, Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź 1997.
- [11] Knowlton J.: USDA Reference Methods for HVI Rd/+b Color Calibration, ITMF Task Force on Color Meeting, Brema 2008.
- [12] Shofner F. M., Watson M. D., Zhang Y., Lee S., Shofner K.: Moving to CIE Color, Traceably! 2006 Beltwide Cotton Conferences, San Antonio (Texas USA) 2006.
- [13] Rodgers J., Thibodeaux D., Cui X., Martin V., Watson M.: Investigations of the Impacts of Instrumental and Operational Variables on Color Measurement, World Cotton Research Conference WCRC - 4, Lubbock (2007).
- [14] Rodgers J., Thibodeaux D., Cui X., Martin V., Watson M., Knowlton J.: Instrumental and Operational Impacts on Spectrophotometer Color Measurements, *The Journal of Cotton Science* 12 2008.
- [15] Matusiak M.: Color Grade Agreement of Classers' Grading and HVI Classing, ITMF Task Force on Color Meeting, Brema 2008.
- [16] Xu B., Su J., Dale D. S., Watson M. D.: Cotton Color Grading with Neural Network, *Textile Research Journal* 70 (5) 2000.