

IZABELA JASIŃSKA

**Wydział Technologii Materiałowych
i Wzornictwa Tekstyliów
Politechnika Łódzka**

INSTRUMENTALNA METODA OCENY PILLINGU PŁASKICH WYROBÓW WŁÓKIENNICZYCH

Promotor: **dr hab. inż. Zbigniew Stempień**

Recenzenci: **prof. dr hab. inż. Tadeusz Skubis**
prof. dr hab. inż. Izabella Krucińska

W niniejszym referacie jest opisana instrumentalna metoda oceny intensywności pillingu płaskich wyrobów włókienniczych. Obecnie w praktyce laboratoryjnej jest stosowana organoleptyczna, subiektywna metoda oceny zjawiska pillingu, zawarta m.in. w normach PN-EN ISO 12945-1/2:2002. Celem pracy było opracowanie i scharakteryzowanie w ujęciu metrologicznym nowej, instrumentalnej metody oceny pillingu opartej na komputerowym przetwarzaniu i analizie obrazu spillingowanej próbki. W pracy została przedstawiona budowa stanowiska pomiarowego oraz procedura pomiaru pillingu. Następnie został określony model jakościowy metody, zostały zidentyfikowane i zbadane czynniki mogące mieć potencjalny wpływ na wyniki pomiaru. Zostały także określone metrologiczne cechy metody instrumentalnej, jak czułość, próg pobudliwości. Została także zbadana zależność korelacyjna z wynikami uzyskanymi metodą znormalizowaną.

1. WPROWADZENIE

Pilling jest określany jako tworzenie się na powierzchni wyrobu zaplątanych pęczków włókien (pill). Powyższa definicja została przedstawiona przez Żurka i Kopiasa [1] oraz w normie [2]. Proces tworzenia się pill obejmuje odciążenie włókien odstających od powierzchni wyrobu, następnie ich wzajemne owinięcie, splątanie, aż do uformowania się pilli i zerwania części włókien ją tworzących. W większości przypadków na powierzchni spillingowanych wyrobów włókienniczych współistnieją wszystkie fazy tworzenia się pilli. Zjawisko pillingu jest

znane praktycznie każdemu użytkownikowi wyrobów włókienniczych. Występuje ono niezwykle często, może doprowadzać do istotnych zmian walorów estetycznych i sensorycznych odzieży oraz obniżenia komfortu jej użytkowania. W związku z powyższym ocena pillingu jest istotna z punktu widzenia zarówno producentów i konfektionerów wyrobów włókienniczych, jak i ich użytkowników. Obecnie w praktyce laboratoryjnej jest stosowana subiektywna, organoleptyczna metoda oceny zjawiska pillingu. Procedura oceny przewiduje porównanie spillingowanej próbki do opisu stopnia odporności na pilling zawartego w normie. Oceny dokonuje zespół ekspertów, składający się przeważnie z 3 osób. Od wielu lat są prowadzone prace badawcze mające na celu obiektywizację oceny pillingu na powierzchni płaskich wyrobów włókienniczych. Pierwsze z prac badawczych [3-6] były oparte na technikach przetwarzania i analizy obrazu cyfrowego w celu wyodrębnienia pill z tła próbki i oceny intensywności pillingu. Kolejna grupa publikacji [7-9] prezentuje rozwiązania oparte na analizie widma obrazu spillingowanej próbki, powstałego w wyniku zastosowania szybkiej transformacji Fouriera (FFT). Analizie zostały poddane głównie wzorce fotograficzne stopni odporności na pilling, zaś ocena próbek rzeczywistych była silnie ograniczona. Metodą zbliżoną do technik wykorzystujących transformację Fouriera jest technika identyfikacji i oceny ilościowej pillingu na powierzchni wyrobów włókienniczych oparta na wykorzystaniu dwuwymiarowej dyskretnej transformacji falkowej (2DDWT), [10,11]. Prace badawcze w publikacjach [12-14] wykorzystywały transformację falkową UDWT (Undecimated Discrete Wavelet Transform) oraz kompleksowego wektora cech tekstury obrazu (o składowych stanowiących współczynniki falkowe) do identyfikacji i oceny zjawiska pillingu. Kolejnym podejściem do zagadnienia obiektywnej identyfikacji i oceny zjawiska pillingu jest publikacja [15]. Prezentowany w niej system pomiarowy umożliwił uzyskanie danych pozwalających określić topografię badanej powierzchni próbki dzięki pomiarowi przemieszczenia wiązki świetlnej. Metoda oceny pillingu zaprezentowana w publikacjach [16,17] była oparta na analizie obrazów profili spillingowanych powierzchni próbek. Podstawą przetwarzania obrazu profilu próbki była detekcja linii bazowej, oddzielającej powierzchnię wyrobu od pillingu. Następnie była stosowana klasyfikacja uzyskanych danych z zastosowaniem sieci neuronowej.

Podsumowując wymienione prace badawcze można stwierdzić, że pomimo dużej ich liczby, zróżnicowania wykorzystywanych technik analizy obrazu cyfrowego, większość z nich nie jest kompleksowo opracowana w odniesieniu do obiektów rzeczywistych, zbadana pod kątem cech metrologicznych oraz nie zostały określone ich zakresy stosowania. Powyżej prezentowane metody nie przewidują oceny wszystkich faz tworzenia się pillingu, ograniczają się jedynie do badania uformowanych pill, niejednokrotnie ograniczają się do pill o określonej wielkości. W związku z wadami dotychczas stosowanej, znormalizowanej

metody oceny pillingu oraz brakiem odpowiednio skutecznych alternatywnych metod oceny zostały podjęte prace nad stworzeniem nowej metody oceny intensywności pillingu.

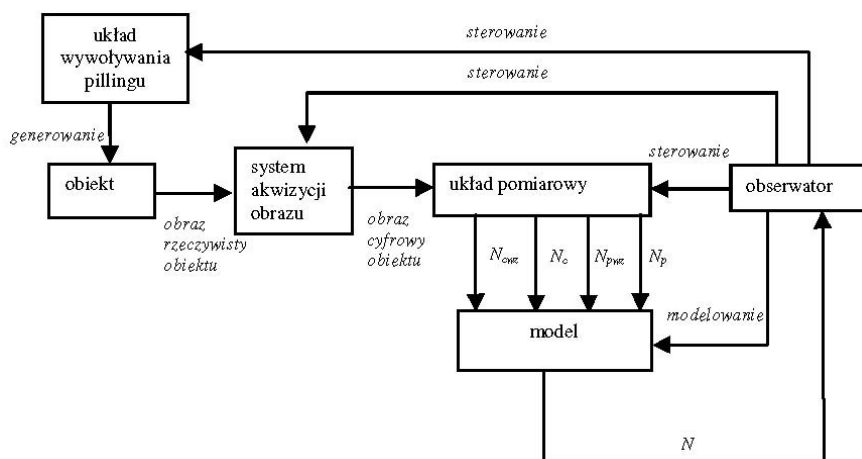
2. IDEA INSTRUMENTALNEJ METODY OCENY PILLINGU

Założeniem opracowanej instrumentalnej metody oceny pillingu jest minimalizacja wad, które towarzyszą metodzie organoleptycznej oraz uwzględnienie intensywności wszystkich etapów tworzenia się pillingu na powierzchni wyrobu. W odniesieniu do ograniczeń znormalizowanej metody oceny, jak i ograniczeń metod alternatywnych opisana w pracy instrumentalna metoda oceny pillingu płaskich wyrobów włókienniczych była oparta na następujących założeniach:

- analiza i ocena będzie obejmować wszystkie fazy tworzenia się pilli wraz z uformowanymi pillami,
- przedmiotem oceny pillingu będą spillingowane próbki wyrobów włókienniczych, bez konieczności dodatkowej analizy wzorców pillingu,
- będzie możliwa akwizycja obrazu spillingowanej próbki, uzyskanej z zastosowaniem każdej obecnie stosowanej znormalizowanej metody generowania pillingu, przy czym będzie także możliwa akwizycja obrazów próbek bezpośrednio na głowicach przyrządów,
- obrazy powierzchni spillingowanych próbek będą przechwytywane z rozdzielczością odpowiednią do zarejestrowania wszystkich elementów pillingu, także odstających włókien i ich niewielkich zgrupowań,
- ocena pillingu będzie się także odnosić do pierwotnych zmian wyglądu badanego wyrobu,
- sposób oświetlenia próbki będzie zapewniał prawidłową separację pillingu od tła,
- będzie zaproponowany wskaźnik stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem, alternatywny względem stopnia odporności wyznaczanego dla metody znormalizowanej,
- ocena będzie prowadzona przez jedną osobę, a nie zespół ekspertów,
- ocena pillingu będzie wymagała podstawowej wiedzy w zakresie identyfikacji zjawiska, zbędne stanie się doświadczenie w zakresie interpretacji opisu stopni zawartego w normie,
- ocena nie będzie silnie zależna od percepcji wzrokowej (analizowanej w kontekście zdolności do dokładnego postrzegania) operatora stanowiska pomiarowego,
- zastosowanie w przetwarzaniu i analizie obrazu dostępnych, powszechnie stosowanych algorytmów, brak konieczności nabywania wysoko specjalistycznych aplikacji w celu korzystania z metody,

- interpretacja wartości stopnia wypełnienia powierzchni pillingu będzie zbliżona do oceny organoleptycznej, gdyż jest oceniana powierzchnia zajęta przez pilling.

W związku z powyższymi prezentowanymi założeniami określonymi dla metody instrumentalnej zostało zaprojektowane stanowisko pomiarowe do akwizycji, przetwarzania i analizy obrazów spillingowanych próbek (rys. 1).



Rys. 1. Schemat stanowiska do oceny pillingu metodą instrumentalną

Schemat stanowiska pomiarowego prezentuje poszczególne jego bloki wraz z sygnałami wejściowymi i wyjściowymi. Układ wywołania pillingu stanowi dowolnie wybrana, znormalizowana metoda generowania pillingu na powierzchni obiektu, którym jest płaski wyrób włókienniczy. W wyniku wywołania pillingu jest otrzymywany rzeczywisty obraz spillingowanego obiektu. Stanowi on sygnał wejściowy dla systemu akwizycji obrazu, składającego się z aparatu fotograficznego wraz ze statywem i oświetlaczem. Wynikiem akwizycji rzeczywistego obrazu obiektu jest jego obraz cyfrowy, stanowiący sygnał wejściowy dla układu pomiarowego. Układ ten składa się z zestawu komputerowego wyposażonego w aplikacje do przetwarzania i analizy obrazu.

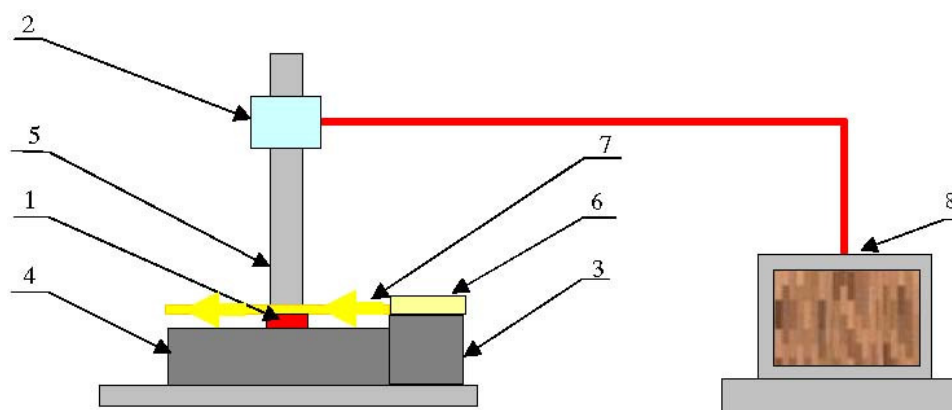
Sygnałami wyjściowymi układu pomiarowego są następujące wielkości:

- powierzchnia próbki przed wywołaniem pillingu zajęta przez występujące fazy pillingu N_{pwz} ,
- całkowita powierzchnia próbki przed wywołaniem pillingu N_{cwz} ,
- powierzchnia próbki po wywołaniu pillingu zajęta przez wszystkie występujące fazy pillingu N_p ,
- całkowita powierzchnia próbki po wywołaniu pillingu N_c .

Wyżej wymienione wielkości są parametrami modelu, na podstawie którego jest obliczany stopień wypełnienia powierzchni pillingiem N .

3. STANOWISKO POMIAROWE

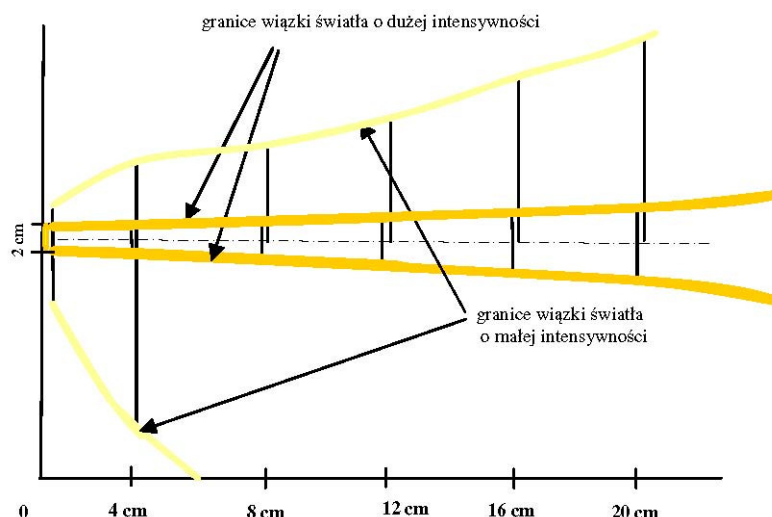
W celu określenia wartości nowego wskaźnika, pozwalającego na ocenę intensywności pillingu na powierzchni próbki, opracowano stanowisko pomiarowe, którego schemat blokowy przedstawia rys. 2. Główne elementy tego stanowiska to kamera CCD do akwizycji obrazu, oświetlacz liniowy o dużym natężeniu światła, system komputerowy wyposażony w oprogramowanie niezbędne do przetwarzania i analizy obrazu.



- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1 – badana próbka | 5 – statyw |
| 2 – kamera CCD | 6 – oświetlacz liniowy |
| 3 – część ruchoma stolika | 7 – wiązka światła |
| 4 – część nieruchoma stolika | 8 – system komputerowy |

Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska do oceny pillingu

Badana próbka (1) jest umieszczana na powierzchni części nieruchomej stolika (4), znajdującej się na statywie (5). Ponad próbką, prostopadle do niej, jest zamocowana kamera CCD (2) z obiektywem stałogniskowym 50 mm/f1,2. Próbka jest oświetlana oświetlaczem liniowym Crimi Lite 80L (6) emitującym wiązkę białego światła widzialnego o natężeniu 100 klux i zamocowanym na powierzchni ruchomej części stolika (3). Cechą emitowanej przez oświetlacz wiązki światła (7) jest jej zdolność do wywoływania zjawiska odbicia i rozproszenia światła na elementach struktury badanej próbki, które znajdują się ponad płaszczyzną wyrobu. Na rys. 3 przedstawiono rozkład natężenia światła generowanego przez oświetlacz w funkcji odległości od źródła.



Rys. 3. Schemat rozchodzenia się wiązek światła emitowanych przez oświetlacz

Możemy wyróżnić dwie wiązki składowe, różniące się intensywnością promieniowania świetlnego i rozkładem geometrycznym. Pierwsza z wiązek, o dużej intensywności promieniowania widzialnego, jest zbliżona do wiązki równoległej, jej kąt rozwarcia wynosi ok. $26-30^\circ$ i jest symetryczny względem osi wiązki. Wiązka ta ma decydujące znaczenie w procesie oświetlania próbki. W zakresie stosowanym podczas pomiaru, szerokość wiązki zmienia się od 20 do 38 mm. Oznacza to, że próbka jest oświetlona przez tę wiązkę, aż do wysokości minimum 20 mm ponad swoją powierzchnię. Zapewnia to pokrycie wiązką światła o dużej intensywności wszystkich elementów struktury powierzchni próbki. Druga wiązka, znajdująca się na zewnątrz wiązki liniowej, jest rozbieżna i niesymetryczna względem osi wiązki. Cechuje się znacząco mniejszą intensywnością promieniowania świetlnego. Proces akwizycji obrazu jest sterowany za pomocą zestawu komputerowego (8), w którym jest realizowana również końcowa obróbka obrazu i obliczenie wskaźnika wypełnienia powierzchni pillingiem.

4. PROCEDURA POMIARU

Procedura pomiaru obejmuje w pierwszym etapie generowanie pillingu jedną ze znormalizowanych metod, np. EN ISO 12945-1/2:2000, ASTM D-3511-08, ASTM D-3514-09. Następnie jest przeprowadzana akwizycja obrazu próbki, oświetlonej wiązką światła z oświetlacza. W kolejnym kroku obraz jest przetwarzany za pomocą oprogramowania do obróbki map bitowych w celu wzmocnienia kontrastu pomiędzy elementami obrazującymi pilling a tłem. W tym celu, z obrazu próbki, dokonuje się separacji trzech kanałów, zgodnie

z modelem barw, w jakim obraz został zarejestrowany. Następnie na wyodrębnionych kanałach przeprowadza się operację matematyczną, która pozwala uzyskać najkorzystniejszy kontrast pomiędzy obrazem pillingu i tła próbki. Najczęściej jest to mnożenie map bitowych kanałów czerwonego i zielonego. Przygotowany wstępnie obraz jest poddawany segmentacji według algorytmu progowania typu punktowego, wybranego przez operatora, będącego specjalistą w zakresie oceny pillingu. Podstawą wyboru algorytmu jest jego zdolność do prawidłowej indeksacji pikseli przyporządkowanych do pill, a pominięcie pikseli przyporządkowanych do tła. Poszczególne algorytmy różnią się pomiędzy sobą sposobem, w jaki jest obliczany próg odcięcia poziomów jasności kwalifikowanych do grupy 0 bądź 1. Dla obrazu po progowaniu jest obliczany stopień zapełnienia powierzchni pillingiem z zależności (1), wyrażony poprzez różnicę pomiędzy procentowymi udziałami powierzchni zajętej przez pilling w stosunku do całkowitej powierzchni próbki po i przed procesem generowania pillingu:

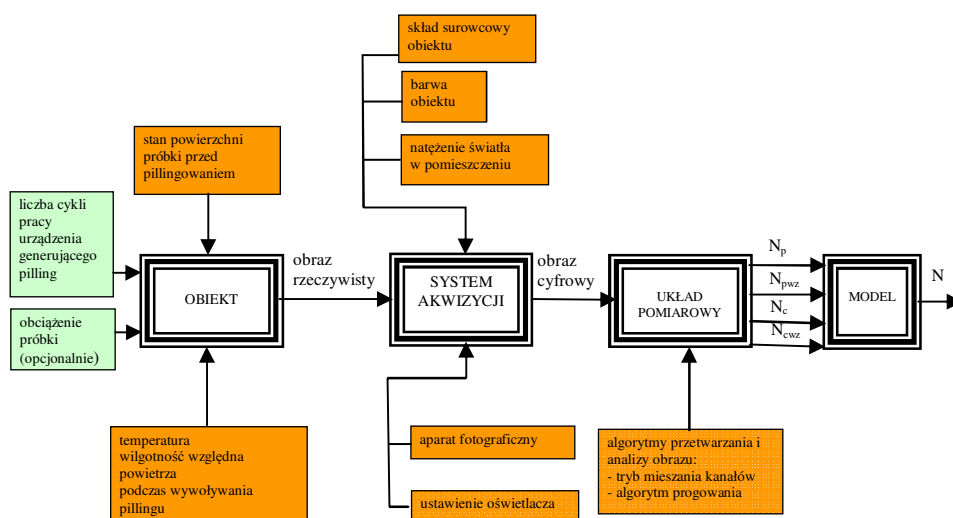
$$N = \left(\frac{N_p}{N_c} - \frac{N_{pwz}}{N_{cwz}} \right) \cdot 100\% = N_{pil} - N_{bezpil} \quad (1)$$

gdzie:

- N – stopień zapełnienia powierzchni i-tej próbki pillingiem, %
- N_p – liczba pikseli na powierzchni próbki zajętej przez pilling, pix
- N_c – liczba pikseli na całkowitej powierzchni próbki, pix
- N_{pwz} – liczba pikseli na powierzchni próbki zajęta przez pilling przed procesem kontrolowanego generowania, pix
- N_{cwz} – liczba pikseli na całkowitej powierzchni próbki przed pillingowaniem, pix
- N_{pill} – stopień zapełnienia powierzchni pillingiem po pillingowaniu,
- N_{bezpil} – stopień zapełnienia powierzchni pillingiem przed pillingowaniem.

5. MODEL JAKOŚCIOWY INSTRUMENTALNEJ METODY OCENY PILLINGU

W związku z tym, że elementy składowe stanowiska pomiarowego mają możliwość wyboru zróżnicowanych nastaw, które mogą wpływać na wynik pomiaru, konieczna jest szczegółowa analiza nastaw elementów stanowiska oraz warunków środowiskowych. Przeprowadzona została analiza czynników mogących potencjalnie wpływać na wynik pomiaru stopnia zapełnienia pillingiem dającą w konsekwencji model jakościowy prezentujący grupy wielkości wejściowych, wyjściowych oraz zakłóceń oddziałujące na obiekt, system akwizycji i układ pomiarowy. Model jakościowy instrumentalnej metody oceny pillingu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Model jakościowy instrumentalnej metody oceny pilingu

Obiektem w prezentowanym modelu jakościowym jest próbka płaskiego wyrobu włókienniczego. Wielkościami wejściowymi dla obiektu są liczba suwów przyrządu Martindale'a bądź liczba obrotów skrzynki. Wartościami zakłócającymi mogą być temperatura i wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu, w którym jest wywoływany pilling. Ograniczenie wpływu tych zakłóceń polega na utrzymaniu stałej wartości temperatury i wilgotności w laboratorium, zgodnie z wartościami podanymi w normach dotyczących procesu generowania pilingu. Wielkością wpływającą na wartość stopnia zapełnienia pillingiem jest również stan próbki przed pillingowaniem, co uwzględniono w modelu matematycznym (1). Wielkością wyjściową po procesie generowania pilingu jest obraz rzeczywisty spillingowanej powierzchni. Jest on wielkością wejściową jednocześnie dla systemu akwizycji. Wielkościami mogącymi potencjalnie zakłócać proces akwizycji i w konsekwencji wpływać na pomiar stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem są barwa obiektu i jego skład surowcowy oraz natężenie światła w pomieszczeniu pomiarowym. Również nastawy aparatu fotograficznego oraz ustawienie wysokości oświetlacza mogą stanowić źródło sygnałów zakłócających. Sygnałem wyjściowym systemu akwizycji jest obraz cyfrowy, podlegający dalej przetwarzaniu i analizie dokonywanej przez układ pomiarowy. Parametrami opcjonalnymi układu pomiarowego są tryby mieszania kanałów obrazu RGB oraz algorytmy progowania obrazu. Sygnałami wyjściowymi układu pomiarowego oceny pilingu są wielkości, na podstawie których jest wyznaczany stopień zapełnienia powierzchni pillingiem N , korzystając z przyjętego modelu.

6. ANALIZA CZYNNIKÓW WPLYWAJACYCH NA WYNIK POMIARU STOPNIA ZAPEŁNIENIA PILLINGIEM

W odniesieniu do przedstawionego modelu instrumentalnej metody oceny pillingu została przeprowadzona analiza wymienionych elementów i zjawisk mogących potencjalnie wywierać wpływ na wartość stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem. Ocenie zostały poddane zarówno zjawiska pochodzące od nastaw stanowiska pomiarowego, jak i od wyrobu włókienniczego.

6.1. Analiza parametrów nastawczych i środowiskowych stanowiska pomiarowego

W pierwszej kolejności analizie poddano cyfrowy aparat fotograficzny będący elementem systemu akwizycji; służy do przechwytywania zdjęć próbek poddawanych ocenie pillingu. Urządzenie to zapewnia rozdzielczość przechwytywania obrazów wynoszącą 21,1 MPix, zaś wielkość matrycy światłoczułej CMOS to 24 x 36 mm. W związku z bardzo dobrymi parametrami akwizycji obrazu, jakie posiada opisany aparat można założyć, że zarówno rozdzielczość, jak i brak interpolacji pixeli obrazu zapewnia pożądaną w badaniu jakość cyfrowego odwzorowania widoku spillingowanej próbki. Ponadto aparat jest wyposażony w stałogniskowy obiektyw 50 mm, f 1,2, który zapewnia prawidłowy rozkład poziomów jasności pozyskiwanych obrazów. Dodatkowo, przechwytywany obraz próbki mieści się w centralnej części kadru, w związku z czym minimalizuje to występowanie zniekształceń geometrycznych. Z uwagi na przewidziany do stosowania w procedurze pomiarowej automatyczny tryb nastaw aparatu, ograniczono możliwość wpływu takich parametrów nastawnych jak otwarcie przysłony, czas migawki czy balans bieli. Parametry te są dobierane przez algorytm sterujący pracą aparatu i nie podlegają manualnemu doborowi podczas pomiaru.

Jako następny czynnik mogący mieć wpływ na pomiar wskazano warunki środowiskowe, czyli temperatura powietrza i wilgotność względna w pomieszczeniu. Z uwagi na fakt, że stanowisko pomiarowe znajduje się w pomieszczeniu o klimacie normalnym, przyjęto, że wpływ tych warunków jest zawsze jednaki i stały.

Analizując wpływ oświetlacza liniowego na wynik pomiaru, należy zwrócić uwagę, że nie występuje możliwość regulacji parametrów emitowanego światła. W związku z powyższym, czynnikiem mogącym wpływać na pomiar stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem jest położenie rozbieżnej wiązki światła o wysokiej intensywności w stosunku do powierzchni próbki. To położenie jest ustawiane poprzez ruchomą część stolika, na której jest zamocowany oświetlacz (rys. 2). Punkt zerowy położenia oświetlacza ustalono poprzez ustawienie dolnej

krawędzi soczewki oświetlacza na wysokości powierzchni części nieruchomej stolika, na której znajduje się próbka. Podczas badań położenie wiązki światła o wysokiej intensywności względem powierzchni próbki jest ustawiane w sposób subiektywny przez operatora, na podstawie obserwacji oświetlenia powierzchni próbki. W związku z powyższym została przeprowadzona analiza wpływu położenia wiązki światła o wysokiej intensywności względem powierzchni próbki na wynik pomiaru.

Do badań wytypowano następujące wyroby włókiennicze:

- dzianina rządkowa lewoprawa wiskoza 95%, 5% przędza elastomerowa, kolor beżowy,
- tkanina o splocie płóciennym 100% bawełna, kolor czerwony,
- dzianina rządkowa dwuprawa 2x2, 65% poliakrylonitryl, 35% wełna, kolor grafitowy,
- tkanina o splocie skośnym 2/1 Z, 55% poliakrylonitryl, 45% wełna, kolor granatowy.

Każdy z wymienionych wyrobów włókienniczych poddano procesowi wywoływania pillingu według PN- EN ISO 12945-1:2002. Następnie przeprowadzono ocenę intensywności pillingu metodą instrumentalną, przy różnych ustawieniach ruchomego stolika. Jako punkt początkowy w badaniu przyjęto położenie stolika w punkcie zerowym, zaś wartości liczbowe kolejnych położzeń stolika były wielokrotnościami wartości grubości danej próbki (aż do 6-krotnej grubości). Dla każdego położenia stolika dokonano akwizycji obrazu i obliczono stopień zapełnienia powierzchni pillingiem N_{pill} . Uzyskane wartości zapełnienia powierzchni pillingiem N_{pill} poddano następnie analizie statystycznej. Została obliczona wartość statystyki F-Fischera t-studenta dla wszystkich możliwych 15 kombinacji zbioru wartości położenia stolika, dla których wykonano badania. Wykazano, że dla badanych wyrobów włókienniczych uzyskane wartości wymienionych statystyk pozwalają przyjąć za prawdziwą hipotezę o braku istotności różnic między wariancjami i średnimi wartościami wskaźnika N_{pill} dla zróżnicowanych wartości położzeń stolika. Pozwala to wnioskować o braku istotnego statystycznie wpływu położenia stolika w zakresie poddanym analizie, na wartości wskaźnika N_{pill} , a co z tym związane i wartości stopnia zapełnienia pillingiem N .

Z punktu widzenia przeprowadzonej analizy statystycznej i merytorycznej oceny procesu segmentacji obrazów próbek wynika, że informacja o braku istotności wpływu położenia stolika w badanym zakresie na wartość N_{pill} jest wystarczająca. Jednak dla stwierdzenia, czy istnieje granica braku istotności wpływu położenia stolika na wartości wskaźnika N_{pill} konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań dla innych wysokości stolika, wybranych w oparciu o geometrię wiązki światła o dużej intensywności. Wytypowano następujące wysokości położenia stolika: 38 mm, gdy rozbieżna wiązka o dużej intensywności częściowo oświetla powierzchnię próbki i 45 mm, gdy próbka nie jest przez nią oświetlana. Dla powyższych położzeń stolika przeprowadzono badania

z zastosowaniem próbek wspomnianych we wcześniejszym etapie badania. Analiza statystyczna wpływu położenia stolika na wartości wskaźnika N_{pill} wykazała, że jest on statystycznie istotny dla położenia stolika powyżej 38 mm. Podobny wniosek wynika z analiz dla położenia stolika wynoszącego 45 mm. Jednocześnie wcześniej stwierdzono, że zmiana położenia stolika o wartość równą sześciokrotnej grubości badanego wyrobu nie wpływa istotnie na wynik pomiaru wskaźnika N_{pill} . Daje to stosunkowo dużą swobodę ustawiania położenia wiązki światła względem powierzchni próbki podczas przeprowadzania pomiaru z uwagą na jej dostateczną szerokość (minimum 20 mm).

Istotnym czynnikiem zakłócającym procedurę pomiaru mogą być warunki otoczenia w jakim znajduje się stanowisko, z których najistotniejszym jest intensywność oświetlenia w pomieszczeniu. Analiza wpływu tego czynnika została przeprowadzona dla dwóch skrajnych przypadków. Zostały wykonane pomiary wartości wskaźnika N_{pill} dla obrazów próbek pozyskanych przy dwóch wartościach intensywności oświetlenia:

- E_{max} – maksymalnej ekspozycji świetlnej pomieszczenia, czyli przy włączonym oświetleniu jarzeniowym w słoneczny dzień; wówczas natężenie światła padającego na próbkę znajdującą się na stanowisku pomiarowym wynosiło 390 lux,
- E_{min} – minimalnej ekspozycji świetlnej pomieszczenia, uzyskanej w pomieszczeniu dzięki tekstylnym żaluzjom wykonanym z tkaniny absorbującej energię świetlną pochodzącą z zewnątrz budynku; natężenie światła miało wartość 1 lux.

Wykazano brak statystycznie istotnego wpływu warunków oświetlenia w pomieszczeniu na wartości wskaźnika N_{pill} i stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem N . Uzyskany wynik potwierdza duża różnica w intensywności strumienia świetlnego emitowanego przez oświetlacz liniowy (100 klux) i źródła światła na stanowisku pomiarowym (maksymalna wartość to 390 lux).

6.2. Analiza wpływu barwy badanego obiektu

Barwa wyrobu włókienniczego może stanowić jeden z czynników potencjalnie wprowadzający zakłócenia podczas pomiaru stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem. Wpływ barwy jest czynnikiem często analizowanym w literaturze, który utrudnia bądź uniemożliwia pomiar pillingu metodami optoelektronicznymi. Przyczyną powyższego zjawiska jest istotna wrażliwość metod przetwarzania obrazu na gradienty poziomów jasności analizowanych map bitowych, których przyczyną jest wielobarwność próbki. Próbki o barwach intensywnych, ciemnych, których powierzchnie pochłaniają dużą ilość promieniowania świetlnego także stwarzają duże trudności podczas procesów przetwarzania i analizy obrazu. W celu zbadania wpływu barwy na wartości

wskaźnika N_{pill} został przeprowadzony program badań z udziałem dzianiny o splocie interlok, 100% włókien bawełny, wybarwionej w 4 odcieniach, a także bielonej. Wybarwienie przeprowadzono przy zastosowaniu barwników helionowych i bezpośrednich, wybrano 4 odcienie podstawowe, nadając próbkom optymalne wysycenie barwnika, co skutkowało dużą intensywnością uzyskanej barwy próbki. Natomiast proces bielenia przeprowadzono metodą podchlorynową. W celu określenia zróżnicowania barw pomiędzy sobą każdą z nich przedstawiono w postaci przestrzeni barw *CIELab*. Zostały obliczone wartości współrzędnych barwy *CIELab* wraz ze wskaźnikami ΔE . Uzyskane wartości wskaźnika ΔE zapewniają, że analizowane próbki są reprezentatywne wobec barw z zakresu widma widzialnego.

Próbki dzianiny poddano badaniu odporności na pilling zgodnie z normą PN-EN ISO 12945-1:2002. Czas badania wynosił 2 godziny (7200 obrotów). W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów stopnia wypełnienia powierzchni pillingiem N_{pill} .

Tabela 1. Wartości wskaźnika N_{pill} dla próbek wybarwionych

Lp.	wartość N_{pill} / próbka				
	żółta	błękitna	szkarłat	czerń	biel
1	33,22	32,11	34,33	32,38	32,98
2	33,23	32,28	32,94	33,15	32,63
3	33,79	33,29	33,61	31,56	32,38
4	32,88	33,45	32,93	33,74	33,82

W dalszej analizie badano statystyczną istotność różnic pomiędzy wartościami wskaźnika N_{pill} przedstawionymi w tabeli 1. Oceny istotności różnic dokonano z zastosowaniem analizy wariancji dla klasyfikacji jednoczynnikowej. Czynnikiem klasyfikującym jest barwa próbek. W pierwszej kolejności wykazano zgodność rozkładu wartości wskaźnika N_{pill} z rozkładem normalnym. Przeprowadzona następnie jednoczynnikowa analiza wariancji dla zbioru wartości wskaźnika N_{pill} pozwala wnioskować o braku statystycznie istotnych różnic pomiędzy średnimi wartościami wskaźnika N_{pill} dla badanych próbek wybarwień i próbki bielonej.

Przeprowadzona analiza wpływu barwy płaskiego wyrobu włókienniczego na wynik pomiaru stopnia wypełnienia powierzchni pillingiem metodą instrumentalną wykazała brak statystycznie istotnej różnicy wartości wskaźnika N_{pill} wyznaczanego dla próbek o przyjętych wybarwień.

7. CECHY METROLOGICZNE INSTRUMENTLANEJ METODY OCENY PILLINGU

Opracowana instrumentalna metoda oceny intensywności pillingu wymaga scharakteryzowania pod względem metrologicznym. W procesie badania odporności na pilling możemy wyróżnić obiekt i stanowisko pomiarowe. W oparciu o wielkości mierzone i przyjęty model jest wyznaczana wartość stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem. Istotne znaczenie dla końcowego wyniku pomiaru tej wielkości mają cechy metrologiczne zastosowanej metody pomiarowej. W związku z powyższym określono takie cechy instrumentalnej metody oceny pillingu jak czułość i próg pobudliwości.

7.1. Wyznaczenie czułości i progu pobudliwości

Wyznaczenie czułości i progu pobudliwości metody instrumentalnej było zrealizowane w dwóch etapach. Ocenie podlegały następujące zjawiska:

- intensywność wymuszenia zjawiska pillingu na badanym obiekcie, wyrażona w postaci wartości stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem N w funkcji liczby cykli,
- zmiany wartości stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem N w wyniku przyporządkowania w obrazie cyfrowym pojedynczych pikseli, reprezentujących zmiany o charakterze pillingu, do tła.

W celu określenia czułości i progu pobudliwości opracowanej metody oceny pillingu zostały przeprowadzone serie badań, zgodnie z ustalonym programem i etapami. Celem pierwszego etapu programu badań było wyznaczenie wartości progu pobudliwości i określenie czułości instrumentalnej metody oceny pillingu z uwzględnieniem wpływu intensywności wymuszenia pillingu. Wartością wielkości wejściowej dla metody instrumentalnej w tym przypadku była intensywność wymuszenia pillingu na powierzchni badanej próbki, wyrażona w liczbie suwów przyrządu Martindale'a. Wartością wielkości wyjściowej była natomiast wartość wskaźnika N . Do badań zostały zastosowane trzy płaskie wyroby włókiennicze – tkanina i dwie dzianiny. Program badania obejmował następujące fazy:

- generowanie procesu pillingowania na przyrządzie Martindale'a,
- akwizycję, przetwarzanie i analizę obrazów próbek dla każdego przedziału procesu pillingowania (co 16 suwów urządzenia, czyli pełną krzywą Lissajoux).

Został wprowadzony wskaźnik R_z , różnica pomiędzy następującymi po sobie wartościami wskaźnika N (zależność 2). Wielkość R_z w odniesieniu do odpowiednich przyrostów wartości wejściowych określa czułość metody C (zależność 3).

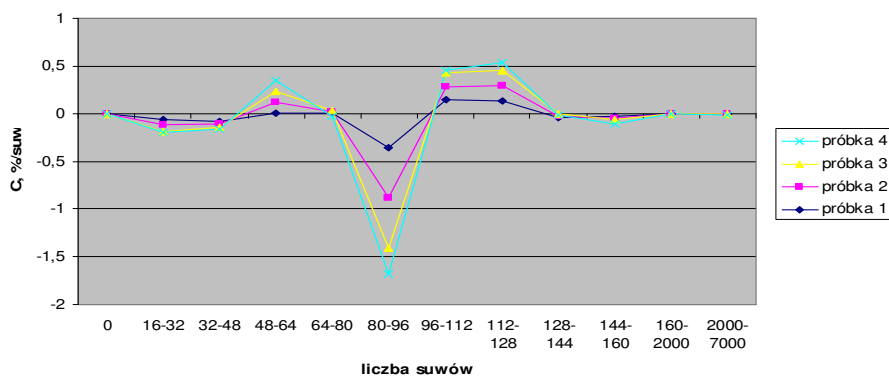
$$Rz = N_{L_{suw_{n+1}}} - N_{L_{suw_n}} \quad (2)$$

gdzie:

$N_{L_{suw_{n+1}}}$ – wartość wskaźnika N dla liczby kolejno następującej suwów $L_{suw_{n+1}}$,

$N_{L_{suw_n}}$ – wartość wskaźnika N dla liczby poprzedniej suwów L_{suw_n} .

$$C = \frac{Rz}{L_{suw_{n+1}} - L_{suw_n}} \quad (3)$$



Rys. 5. Różnice wartości czułości C w funkcji liczby suwów

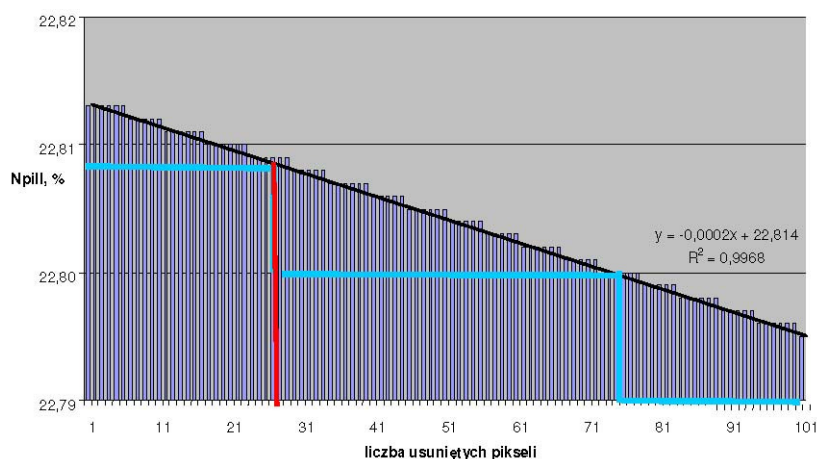
Z przeprowadzonych badań w ramach oceny czułości metody wynika, że czułość C jest zależna nie tylko od intensywności generowania pillingu, lecz także od cech wyrobu włókienniczego poddanego badaniu (zróżnicowanie wartości C zależne od intensywności narastania pillingu). Zjawisko to jest widoczne na przykładowym wykresie zależności czułości od liczby suwów (rys. 5). Jednakże można stwierdzić, że wartości czułości dla analizowanych wyrobów kształtują się w przedziale

$$C \in (-2; +2) \frac{\%}{suw}.$$

Wyznaczony przedział wartości czułości wydaje się być szacowany nadmiarowo, jednak wynika to z charakteru obiektów badawczych i specyfiki procesu generowania pillingu na przyrządzie Martindale'a.

Drugi etap badania cech instrumentalnej metody oceny pillingu jest oparty na analizie zmian stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem w wyniku przyporządkowania w obrazie cyfrowym pojedynczych pikseli, reprezentujących zmiany o charakterze pillingu, do tła. Celem tego etapu jest wyznaczenie progu pobudliwości poprzez określenie minimalnej powierzchni, eliminowanej z treści obrazu cyfrowego, która nie zmienia wartości stopnia zapełnienia powierzchni

pillingu o wartość 0,01%. Do analizy zostały wykorzystane wytypowane obrazy, po trzy dla jednego z wcześniej analizowanych wyrobów włókienniczych. Procedura badania polegała na wybraniu z każdego z binarnych obrazów prostokątnego obszaru o wymiarach 732x746pix i obliczeniu dla niego wskaźnika N_{pill} . Obliczenia wskaźnika przeprowadzono z dokładnością większą o jedną liczbę dziesiętną w stosunku do założeń procedury pomiarowej. Następnie usuwany był z obrazu pojedynczy piksel, z obszarów należących do powierzchni zajętej przez pilling i wskaźnik N_{pill} był ponownie obliczany. Proces usuwania pikseli został wykonany w 100 iteracjach. W wyniku przeprowadzonych badań została określona liczba pikseli, których usunięcie z obrazu próbki nie zmienia wartości N_{pill} . Ponadto została wyznaczona najmniejsza, możliwa do obliczenia z przyjętą dokładnością podawania wyniku, różnica pomiędzy kolejnymi zmianami ilości pikseli na obrazie, które są zdolne do generowania zmian wartości N_{pill} . Przykładowe uzyskane wyniki są prezentowane na rys. 6. Linie koloru czerwonego, zamieszczone na rysunkach, określają pierwszą zmianę wartości wskaźnika N_{pill} , która wystąpiła od chwili rozpoczęcia badania w odniesieniu do przyjętej w procedurze pomiaru dokładności podawania wyników. Natomiast linie w kolorze błękitnym obrazują zmiany wartości wskaźnika N_{pill} obliczonego i podanego z dokładnością określoną w procedurze pomiarowej.



Rys. 6. Zmiany wartości wskaźnika N_{pill} w wyniku usuwania pikseli obrazu

Prezentowany na rys. 6 wykres zawiera także linię i równanie regresji wraz z wartością współczynnika determinacji R^2 . Z danych pomiarowych wynika, że wszystkie linie regresji, niezależnie od badanej próbki, tworzą zbiór prostych o jednakowym współczynniku kierunkowym równym $-0,0002$, różniących się jedynie wartością wyrazu wolnego, zależnego od analizowanego obrazu.

Analizując uzyskane wyniki z punktu widzenia progu pobudliwości można stwierdzić, że wynosi on 54 piksele. Jest to różnica jednakowa dla wszystkich badanych obrazów, pomiędzy pierwszą a ostatnią jednakową wartością wskaźnika N_{pill} przy kolejno ubywających z obrazu pikselach. W odniesieniu do całkowitej ilości pikseli analizowanych obrazów wartość 54 pikseli stanowi 0,01% powierzchni, czyli przyjętą dokładność podawania wyniku wartości wskaźnika N_{pill} . Należy dodać, że średnia wartość pola powierzchni jednej przeciętnej pilli na powierzchni próbki wynosi powyżej 100 pikseli.

Odnosząc wyznaczoną wartość progu pobudliwości do rozmiarów próbki poddawanej pillingowaniu należy stwierdzić, że:

- przeciętny rozmiar przechwytywanego obrazu wynosi 4080 x 2720pix,
 - przeciętna powierzchnia badanej próbki, znajdującej się na wyżej określonym obrazie to ok. 1240900pix² (z uwzględnieniem faktu, że próbka nie zajmuje całego obrazu),
 - w wyniku procesu kalibracji został określony przeciętny wymiar piksela opisanego obrazu, wynoszący 0,1x0,1 mm, czyli 1 piksel ma powierzchnię 0,01 mm²,
 - w efekcie powyższych rozważań powierzchnia 54 pikseli stanowi 0,54 mm².
- Podsumowując, próg czułości instrumentalnej metody oceny pillingu wynosi 0,54 mm².

8. KORELACJA Z METODĄ ZNORMALIZOWANĄ

Istotnym elementem oceny instrumentalnej metody analizy pillingu jest określenie, czy występuje przybliżona zależność funkcyjna pomiędzy wynikami oceny pillingu otrzymanymi metodą instrumentalną i metodą znormalizowaną. Instrumentalna metoda oceny pillingu jako wynik końcowy badania podaje stopień zapelnienia powierzchni próbki pillingiem N , %, gdzie N jest liczbą rzeczywistą. Natomiast metoda oceny pillingu opisana w normie [2] jako wynik końcowy badania podaje stopień odporności na pilling, wyrażony w formie liczbowej, podawany z dokładnością do 0,5 stopnia. W celu określenia zależności funkcyjnej pomiędzy wynikami uzyskanymi obiema metodami został przeprowadzony program badań. Obiektami badania były trzy dzianiny, scharakteryzowane w tabeli 2.

Tabela 2. Dzianiny wytypowane do oceny korelacji

Oznaczenie	Surowiec	Splot dzianiny	Średnia masa powierzchniowa, g/m ²	Barwa
K1	Lyocell 20 tex	lewoprawy	230±2	róż
K2	Tencel 20 tex	dwuprawy 1x1	150±5	róż
K3	Bawełna 100%	lewoprawy	200±2	granat

Dzianiny poddano następnie procesowi generowania pillingu wg normy PN-EN ISO 12945-2:2002 oraz przeprowadzono równoległą i niezależną ocenę intensywności pillingu próbek metodą znormalizowaną i instrumentalną. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 3 dla przykładowych liczb suwów urządzenia Martindale'a wynoszących 125 i 2000.

Tabela 3. Wyniki badań dzianin

Liczba suwów	Próbka	Stopień odporności na pilling, R_{odp}			$N, \%$		
		K1	K2	K3	K1	K2	K3
0 $N_{bezpill}$	pr1	-	-	-	24,4	12,3	2,71
	pr2	-	-	-	25,9	15,3	2,85
	pr3	-	-	-	28,4	18,8	3,35
125	pr1	4	5	3	9,2	4,2	25,7
	pr2	4	5	3	10,9	2,6	25,8
	pr3	4	5	3	10,8	0,2	28,4
2000	pr1	3	4,5	1	26,1	22,7	41,0
	pr2	3	4,5	1	27,0	25,1	39,2
	pr3	3	4,5	1	26,3	24,6	41,4

Uzyskane wyniki pomiarów posłużyły do dokonania analizy statystycznej, mającej na celu wykazanie:

- czy próbki posiadające różne wartości stopnia odporności na pilling różnią się także statystycznie istotnie pod względem wartości wskaźnika N ,
- czy próbki posiadające identyczne wartości stopnia odporności na pilling różnią się statystycznie istotnie pod względem wartości N ,
- czy istnieje przybliżona zależność funkcyjna pomiędzy wartościami stopnia odporności na pilling i wartościami wskaźnika N .

W pierwszym etapie oceniono istotności różnic wariancji i wartości średnich wyników uzyskanych metodą instrumentalną i znormalizowaną w przypadku występowania różnicy wartości stopnia odporności na pilling przy różnych wartościach N . Ocenie podlegały wartości stopnia odporności na pilling i wskaźnika N uzyskane dla następujących po sobie ilości suwów procesu generowania pillingu. Uzyskano następujące wyniki obliczeń:

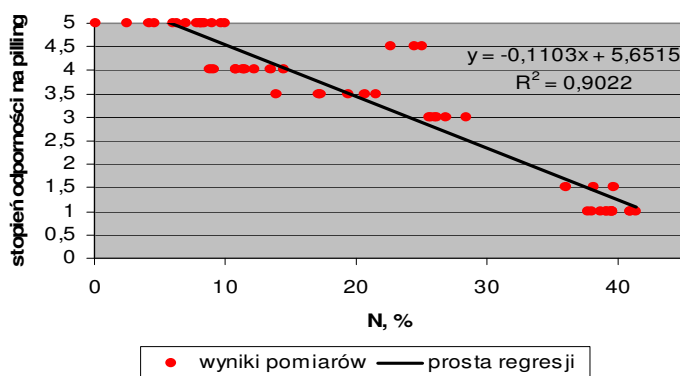
- w 3 omawianych przypadkach przypuszcza się, że występuje statystycznie istotna różnica między wariancjami N ,
- w połowie omawianych przypadków (różnice w wartości stopnia odporności na pilling pomiędzy przedziałami oceny) wystąpił brak statystycznie istotnej różnicy między wariancjami N , jednocześnie dla 3 z 4 tych wyników wystąpiła różnica średnich wartości N ,
- jedynie w jednym z omawianych przypadków nie wystąpiła istotna różnica zarówno dla wariancji, jak i wartości średniej N .

Na podstawie przedstawionych powyżej informacji można wnioskować, że w większości przypadków występuje istotna różnica pomiędzy wartościami wskaźnika N przy współistnieniu różnicy pomiędzy wartościami stopnia odporności na pilling.

W drugim etapie oceniono istotności różnic wariancji i wartości średnich wyników w przypadku braku różnicy wartości stopnia odporności na pilling o różnych wartościach N . Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że:

- we wszystkich omawianych przypadkach nie występuje statystycznie istotna różnica między wariancjami N ,
- w ponad połowie (6/10) przypadków (braku różnic w wartości stopnia odporności na pilling pomiędzy przedziałami oceny) wystąpił brak statystycznie istotnej różnicy między wartościami średnimi N ,
- w 4 z omawianych przypadków przypuszcza się, że wystąpiła istotna różnica w wartości średniej N .

Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować, że w większości przypadków nie ma istotnych różnic wartości stopnia zapełnienia powierzchni pillingiem N , jeśli nie występują różnice w wartościach stopnia odporności na pilling. W 4 wątpliwych przypadkach (przypuszczenie o istotności różnicy wartości średniej N) przyczyną może być wartość dopuszczalnej różnicy między stopniami wynosząca 0,5 stopnia i występująca dla znormalizowanej metody oceny. W celu oceny korelacji pomiędzy metodą znormalizowaną i instrumentalną obliczono również współczynnik korelacji liniowej Pearsona r , oddzielnie dla każdego z analizowanych wyrobów oraz całkowity dla zbioru wszystkich wyników pomiarów uzyskanych dla wyrobów K1, K2 i K3 (r_c). Tabela 4 prezentuje uzyskane wartości współczynników. Na rys. 7 przedstawiono zależność regresyjną pomiędzy ocenami intensywności pillingu uzyskanymi obiema metodami. Dane prezentowane na rys. 7 pochodzą także ze wszystkich badanych wyrobów.



Rys. 7. Zależność regresyjna dla wyników oceny pillingu obiema metodami

Tabela 4. Współczynnik korelacji liniowej r

Wyrób	r	r_c
K1	-0,942	-0,950
K2	-0,934	
K3	-0,961	

Analizując otrzymane wartości współczynnika korelacji liniowej oraz równanie prostej regresji drugiego rodzaju można stwierdzić, że zależność funkcyjna wartości określających intensywność pillingu, wyznaczonych dwiema metodami, jest silna ($r^2 = 0,902$, $r_c = -0,950$), ma charakter liniowy i monotoniczny ujemny (współczynnik kierunkowy prostej regresji wynosi $-0,110$). Potwierdza to zasadność stosowania instrumentalnej metody do oceny pillingu płaskich wyrobów włókienniczych.

Literatura

- [1] **Żurek W., Kopias K.**, Struktura płaskich wyrobów włókienniczych, Wyd. II, WNT, Warszawa 1983.
- [2] **PN-EN ISO 12945-1:2002**, Tekstylnia. Wyznaczanie skłonności powierzchni płaskiego wyrobu do mechacenia i pillingu. Część 1: Skrzynkowa metoda badania pillingu.
- [3] **Konda A. i inni**, Evaluation of pilling by computer image analysis, J. Textile March. Soc. Japan, Vol. 36, No. 3, 1990, s. 96-107.
- [4] **Ramgulam R., Amirbayat J., Porat I.**, The Objective Assessment of Fabric Pilling. Part. I: Methodology, Journal of Textile Institute No. 2, 1993, s. 221-226.
- [5] **Amirbayat J., Alagha M.**, The Objective Assessment of Fabric Pilling. Part. I: Experimental Work, Journal of Textile Institute 85 No. 3, 1994, s. 397-401.
- [6] **Hsi C., Bresee R., Annis P.**, Characterizing Fabric Pilling by Using Image-analysis Techniques. Part 2: Comparison with Visual Pill Ratings, Journal of Textile Institute 89, No. 1, 1998, s. 96-105.
- [7] **Xu B.**, Instrumental Evaluation of Fabric Pilling, Journal of Textile Institute 88, No. 4, 1997, s. 488-500.
- [8] **Jensen K., Carstensen J.**, Fuzz and Pills Evaluated on Knitted Textiles by Image Analysis, Textile Research Journal 72 (1) 2002, s. 34-38.
- [9] **Behera B., Mohan T.**, Objective measurement of pilling by using image processing technique, Int. J. of Clothing Science and Technology Vol. 17, No. 5205.
- [10] **Palmer S., Joud I., Wang X.**, Characterization and application of objective pilling classification to patterned fabrics, Journal of Textile Institute 96, No. 6, 2005, s. 423-430.
- [11] **Palmer S., Wang X.**, Objective Classification of Fabric Pilling Based on the Two-Dimensional Discrete Wavelet Transform, Textile Research Journal 73 (8) 2003, s. 713-720.
- [12] **Kim S., Kang T.**, Image Analysis of Standard Pilling Photographs Using Wavelet Reconstruction, Textile Research Journal 75 (12) 2005, s. 801-811.

- [13] **Zhang J., Wang X., Palmer S.**, Objective Grading of Fabric Pilling with Wavelet Texture Analysis, *Textile Research Journal* 77 (11) 2007, s. 871-879.
- [14] **Zhang J., Wang X., Palmer S.**, Objective Pilling Evaluation of Nonwoven fabrics, *Fibers and Polymers* 11 (1) 2010, s. 115-120.
- [15] **Mendes A., Lopes A.**, Optical Estimation of a Set of Pilling Coefficients for Textile Fabrics, *Textile Research Journal* 79 (5) 2009, s. 410-417.
- [16] **Cherkassky A., Weinberg A.**, Objective Evaluation of Textile Fabric Appearance Part 1: Basic Principles, Protrusion, and Parameterization, *Textile Research Journal* 80 (3) 2010, s. 226-235.
- [17] **Cherkassky A., Weinberg A.**, Objective Evaluation of Textile Fabric Appearance Part 2: SET Opti-grade Tester, Grading Algorithms and Testing, *Textile Research Journal* 80 (2) 2010, s. 135-144.

INSTRUMENTAL METHOD OF TEXTILE FABRIC'S PILLING ASSESSMENT

Summary

Instrumental method of pilling assessment is based on computer processing and analysis of the images of textile fabric samples. The principle of method consists in taking an image of fabric sample under defined conditions of machine vision scene, performing an image processing operation using RGB channel's mix algorithm, making an image segmentation and calculating the value of the degree of surface filling by pilling. The degree of surface filling by pilling is the ratio of surface area occupied by the pilling to the total surface area of the sample.

This paper presents the construction of a measuring stand and the procedure for pilling measurement using instrumental method. Then the qualitative model of the method was defined and potential factors, which may influence the measurement results, were identified and examined. These factors include adjusting parameters of measuring stand and environmental conditions. Furthermore, the metrological characteristics analysis of instrumental method was conducted as regards discrimination threshold and sensitivity. The analysis of adequacy of both instrumental and standard, organoleptic method shows that the test results obtained with both methods are closely correlated.