

JOANNA SZKUDLAREK

Instytut Architektury Tekstyliów

KONSTRUKCJA, TECHNOLOGIA I METODYKA OCENY MULTIFUNKCJONALNEJ TKANINY ŻAKARDOWEJ TYPU „BLACKOUT” DO ZASTOSOWAŃ WE WNETRZACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Promotor: **prof. dr hab. inż. Marek Snycerski**

Recenzenci: **dr hab. inż. Robert Drobina, prof. nadzw. ATH**
dr hab. inż. Katarzyna Majchrzycka, prof. nadzw. CIOP-PIB

Niniejsza rozprawa jest oparta na ponad dziesięcioletnim doświadczeniu zawodowym autora. Obszar zainteresowań i działań autora pokrywa się z obszarem naukowym pracy. Idea rozprawy osadzona jest w rzeczywistości, odnosi się bowiem do fizycznie zaistniałej sytuacji problemowej. Zidentyfikowano złożony problem techniczny w obszarze wnętrza użyteczności publicznej, a następnie przekształcono w problem naukowy będący przedmiotem rozważań niniejszej rozprawy.

Zasłony we wnętrzach użyteczności publicznej należy rozpatrywać również jako obiekty pionowego stosowania, które, spoczywając na systemie zawieszania, muszą pozostawać mobilne, być montowane i demontowane przez człowieka zgodnie z przepisami BHP. Tak rozumiany system zaciemnienia w praktyce stanowią dwie, zawieszane jedna za drugą, tkaniny: dekoracyjna (żakardowa) i barierowa dla światła widzialnego (blackout). Stosowane dotychczas rozwiązanie oznacza podwojenie ilości i ciężaru tkanin na systemie nośnym, w konsekwencji przynosząc problemy techniczne i ograniczenia.

Zaprezentowane nowe podejście do projektowania tkanin wielowarstwowych pozwala na połączenie dwóch kluczowych funkcji: dekoracyjnej i barierowej wobec promieniowania widzialnego w jednej tkaninie zasłonowej. Integracja funkcji w jednym wyrobie to nowy rodzaj konstrukcji tkaniny, w której lewa strona, niezależna względem prawej, pełni funkcje tkaniny podszewkowej. Nowa tkanina, zgodnie z trendami we współczesnym projektowaniu architektonicznym, odpowiada na potrzeby projektantów wnętrza i architektów. Zasłona jako element wystroju powierzchni okiennej, która w rozumieniu architektów łączy wnętrze z otoczeniem, wpływa na wygląd

elewacji budynku, a także na postrzeganie ład przestrzennego miasta. Nowa konstrukcja lewej strony tkaniny wyczerpuje ten problem, wspomagając myśl architektoniczną.

Praca zawiera pionierskie badania dotyczące możliwości multiplikowania funkcji w tkaninach wielowarstwowych, przy ich jednoczesnej separacji i przypisaniu do każdej z warstw. Koncentracja trzech funkcji w jednym wyrobie to perspektywa wielu korzyści związanych z minimalizacją ilości i ciężaru tkanin zasłonowych na systemie nośnym. W praktyce oznacza to poprawę operowania tkaninami, od etapu konfekcjonowania po montaż i demontaż, w celu konserwacji oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa ludzi i obiektu.

Innowacyjna, nieistniejąca dotąd konstrukcja tkaniny wymagała opracowania nowych procedur technologicznych i badawczych, które poszerzają wiedzę w obszarze współczesnego celowego projektowania i analiz instrumentalnych barierowych struktur tkanych. Zatem oprócz charakteru aplikacyjnego, poprzez opracowanie metodyki badawczej i wskaźników oceny wielofunkcyjnej tkaniny żakardowej o właściwościach blackout, praca wnosi wkład w badania nad własnościami optycznymi tekstyliów, w których wymagana jest całkowita barierowość świetlna.

Przedmiotem niniejszej publikacji jest metodyka oceny własności barierowych tkanin zaciemniających typu blackout opracowana na potrzeby oceny nowej konstrukcji tkaniny zasłonowej.

1. STAN ZAGADNIENIA

1.1. Systemy zaciemniające – terminologia i rodzaje. Tkaniny blackout

Systemy zaciemniające lub systemy chroniące przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym występują w różnych formach, wykonane są z różnych surowców (tekstylia, metal, drewno, tworzywo sztuczne), stosowane w połączeniu z różnymi elementami nośnymi. Systemy zaciemniające można ogólnie podzielić na zewnętrzne, tj. systemy panelowe, zadaszenia, membrany, markizy, oraz wewnętrzne, tj. rolety materiałowe, żaluzje, plisy, zasłony wolno wiszące, tkaninowe zasłony na systemie roletowym, tzw. zasłony rzymskie, austriackie i weneckie. Pełnią one wiele funkcji podstawowych i pobocznych opisanych szczegółowo w europejskiej normie PN-EN 14501:2005 [1]. Przede wszystkim zapewniają komfort wizualny i termiczny. Wśród cech wizualnych należy wymienić: zaciemnienie, ochronę przed nadmiernym kontrastem, zapewnienie prywatności, tworzenie bariery dla nieatrakcyjnego otoczenia. Wewnętrzne systemy osłonowe, częściowo sklasyfikowane w normie PN-EN 12216:2004 [2], to: żaluzje poziome – listewkowe, zasłony zwijane (rolety), zasłony pionowe (wertikale), zasłony fałdowane (plisy), zasłony fałdowane (rzymskie, weneckie,

austriackie). Ich znaczącą część stanowią klasyczne i ponadczasowe zasłony zaciemniające. Jest to system złożony z tkaniny i elementów nośnych w postaci karnisza szynowego, podsufitowego i biegaczy (element z tworzywa sztucznego, stanowiący połączenie tkaniny z karniszem, decydujący o mobilności zasłony). Na rysunku 1 przedstawiono system zaciemniający w postaci zasłon, który współcześnie jest stosowany w obiektach hotelowych.



Rys. 1. Przykład systemu zaciemniającego preferowanego do stosowania we wnętrzach hotelowych: a) pokój hotelowy, b) sala konferencyjna, c) sala restauracyjna

Źródło: materiały własne.

W obiektach hotelowych rola tkanin zasłonowych i innych tkanin dekoracyjnych stosowanych we wnętrzach jest bardzo ważna. W tego typu wnętrzach podkreśla się znaczenie tkanin i ich udział w kreowaniu sukcesu hotelu [3]. To dzięki tkaninom dekoracyjnym gość ma poczucie komfortu, bezpieczeństwa i ciepła. Za pomocą takich narzędzi jak kolor, wzór, faktura, stopień nablyszczenia, grubość, sposób upięcia czy kształt dekoracji można całkowicie zmienić charakter wnętrza. Dodatkowo wystrój wnętrz, stanowiący najbardziej widoczną wartość obiektu, musi reagować na zmiany, podążać za myślą projektanta i modą. Najprościej wyrazić go za pomocą tkanin dekoracyjnych, szczególnie tych, które, podobnie jak zasłony, są elementem wystroju „mobilnego”. Ich wymiana po okresie przydatności jest najmniej inwazyjna i kosztowna. Należy podkreślić, że nie jest możliwe zastąpienie tkanin zasłonowych innym systemem. Rolety, ekrany czy plisy nie zastąpią tradycyjnych zasłon. Nie da się też porównać walorów estetycznych

rolet tkaninowych z zasłonami żakardowymi. Pozycja tkaniny zasłonowej w wyposażeniu wnętrz obiektów hotelowych jest nadal niepodważalna.

Tkaniny zasłonowe zaciemniające zwane są powszechnie tkaninami blackout. Terminologia blackout, w odniesieniu do produktów zaciemniających, związana była pierwotnie z tkaninami przeznaczonymi na zasłony i rolety materiałowe wytwarzane w technologii powlekania [4]. Historia technologii tkanin zaciemniających rozpoczyna się w roku 1944 [5, 6]. Wówczas amerykański oficer Us Army Aleksander Leaderman zakupił zakład włókienniczy Rockland Bleach and dye Works i nazwał go Rockland Industries. Wprowadził nowe pojęcie tkaniny – podszewki, poddanej specjalnej obróbce zabezpieczającej ją przed uszkodzeniem pod wpływem działania światła i wody. W 1963 roku Rockland opatentował pod nazwą „curtain lining” pierwszą tkaninę ochronną. Trzy lata później firma wprowadziła na rynek pierwszą tkaninę blackout Roc-Lon Blackout, która blokowała 100% światła wchodzącego do pomieszczenia. Mankamentem tkanin powlekanych były zawsze niedostateczne walory użytkowe, stąd znalazły one szerokie zastosowanie wyłącznie w asortymencie rolet materiałowych, nie zasłon. Wzrost wymagań odbiorców spowodował rozwój produkcji tkanin blackout wytwarzanych technologią tkacką, bez wykończenia maskującego (warstwy powlekanej).

Blackout tkacki, powszechnie wykorzystywany w projektach dekoracji okiennych, swoje optyczne właściwości barierowe uzyskuje poprzez zestawienie parametrów surowca, splotu i wypełnienia tkaniny nitkami [7]. Blackout tkacki zwany jest również blackoutem z czarnym wątkiem, gdyż właściwości barierowe są wspomagane zastosowaniem jednego układu nitek (osnowy lub wątku) w kolorze czarnym. Widok struktury tkaniny zaciemniającej typu blackout z czarnym wątkiem wykonany przy użyciu mikroskopu cyfrowego Delta Optical Smart 2MP (Polska) ilustruje rysunek 2. Czarne nitki ukryte w konstrukcji tkaniny mają za zadanie wzmacniać efekt zaciemnienia poprzez dodatkowe wypełnienie struktury, a jednocześnie nie powodować przyciemnienia kolorystyki zasłony.



Rys. 2. Widok konstrukcji tkaniny blackout z czarnym wątkiem; fragment o wymiarach 7 mm × 5,25 mm

Na potrzeby niniejszej pracy została podjęta próba identyfikacji parametrów istniejących tkanin zaciemniających oraz odtworzenia procesu projektowego. W Polsce kluczowymi producentami tkanin dekoracyjnych, w tym tkanin zaciemniających (głównie powlekanych), są zakłady: Miranda, Polontex i Optex. Odnotowano tylko kilka epizodów produkcji blackoutów tkackich. Raporty technologiczne nie mogły stanowić odniesienia, ponieważ nie spełniały powszechnie uznanych standardów. Oceny jakości tkanin pod kątem ich własności zaciemniających dokonywali sami zlecniodawcy, bazując na własnych, subiektywnych odczuciach.

W części doświadczalnej poddano analizie dostępne tkaniny zaciemniające importowane pod kątem ich konstrukcji, parametrów budowy oraz parametrów procesu tkania. Z uwagi na podstawową cechę, jaką posiada tkanina blackout uzyskana technologią tkacką, tj. zdolność do zaciemniania pomieszczeń poprzez tworzenie bariery dla światła dziennego, konieczne jest stworzenie odpowiednio szczelnej konstrukcji tkaniny. Kreowanie funkcji zaciemniającej w tego typu tkaninach jest możliwe dzięki skomplikowanej budowie, którą stanowią nałożone na siebie warstwy nitek albo połączenie autonomicznych tkanin. Struktury wielowarstwowe w zakresie warstw jednego układu lub warstw autonomicznych tkanin charakteryzują się swobodą i potencjałem projektowania. Zatem tkaniny blackout można wytwarzać dwiema technologiami: technologią tkanin z nawarstwionym układem osnowy lub wątku, a także technologią tkanin co najmniej podwójnych. Konstrukcja blackoutów tkackich budowana jest najczęściej na bazie splotów atlasowych, zgodnie z przyjętymi kryteriami poprawności strukturalnej [8]. Splot atlasowy o raporcie minimum pięcionitkowym sprzyja możliwości kumulowania nitek w strukturze tkaniny. Stosowanie splotów o większych raportach oznacza możliwość zwiększania gęstości tkania. Szosland pisze, że uzyskanie zwartej, nieprzepuszczalnej dla światła konstrukcji należy również wiązać z takimi parametrami jak wypełnienie powierzchniowe tkaniny i wypełnienie tkaniny nitkami [7].

Podsumowując rozważania na temat możliwości wytwarzania tkanin typu blackout, można dojść do wniosku, że w tkactwie znane są dwie technologie tkanin, które dają możliwość zwiększonego zagęszczenia tkaniny nitkami, spełniające założenia tej pracy.

Technologie tkanin o budowie złożonej wymagają rozpatrywania struktur danych wyrobów w przestrzeni trójwymiarowej. Badacze struktur tkackich z Szoslandem na czele wskazali już czynniki decydujące o cechach struktury tkaniny decydujących o ich specjalnym przeznaczeniu. Są to parametry decydujące o kształcie, wymiarach, wzajemnych relacjach elementów budowy struktury, oraz parametry technologiczne i wykończenie. Struktura jest wypadkową własności i morfologii surowca, zastosowanych splotów, parametrów procesu tkania i obróbki mechaniczno-termicznej. Modelowanie struktur o skomplikowanej, złożonej budowie daje możliwości (w zależności od potrzeb) nadania cechy lub nawet zespołu cech. Hallmark i Blinds, znawcy systemów zaciemnień,

z doświadczeniem od 1969 roku, piszą: „złożoność cech systemu zaciemnienia sprawia, że jest mało prawdopodobne, że jeden produkt osiągnie wszystkie wymagania, a dla wielu sytuacji mogą być wymagane dwa systemy cieniowania” [9]. Pozwolę sobie nie zgodzić się z tym. Przyszłość systemów zaciemnienia sprowadza się do spełnienia wszystkich wymagań użytkowników w jednym wyrobie. Rozwiązanie problemu nastąpi wówczas, gdy tkanina o właściwościach blackout będzie wyrobem wielofunkcyjnym.

1.2. Jakość systemów zaciemnienia stosowanych we wnętrzach użyteczności publicznej

We wnętrzach użyteczności publicznej preferowany system zaciemniający stanowią wolno wiszące zasłony montowane na elemencie nośnym zwanym karniszem. Jakość systemu zaciemnienia należy oceniać w szerokim spektrum potrzeb odbiorców docelowych i pośrednich. Z obserwacji procesu projektowego i realizacji obiektów hotelowych wynika, że niezbędne jest rozpoznanie oczekiwań: inwestora, projektanta wnętrz (architekta), usługodawcy i użytkownika docelowego. Inwestor i działający na jego zlecenie projektant dążą do stworzenia odpowiednio estetycznego i atrakcyjnego wystroju w zakresie założonej ekonomiki inwestycji. Celem jest wyposażenie obiektu w praktyczny system przeciwsłoneczny – trwały, łatwy w obsłudze, oparty na produktach bezpiecznych, opisanych normatywnie, potwierdzonych odpowiednimi certyfikatami. Zgodność prawna i normatywna elementów wyposażenia wnętrz jest obligatoryjna i podlega kontroli w obiektach publicznych. Dodatkowo projektant nadzoruje spójność projektu dekoracji okiennej z projektem architektonicznym budynku, łącznie z projektem elewacji. Wykonawca projektu dekoracji okiennej, dbając o jakość usługi i bezawaryjność systemu podczas użytkowania (zgodnie z założeniami niskiej praco-, czaso- i kosztocłonności) na każdym z etapów wykonywanej usługi, stwarza dogodne warunki pracy przy obróbce tkanin (konfekcjonowanie, prasowanie, upinanie) i montażu systemu. Działania te wykonywane są przez ludzi i muszą pozostawać w zgodzie z przepisami Państwowej Inspekcji Pracy. Natomiast uwaga użytkownika skierowana jest na estetykę, skuteczność i funkcjonalność zaciemniania, zasłaniania oraz łatwą i wygodną obsługę systemu dekoracji okiennej. Daje się zauważyć, że rola tkanin w systemie przeciwsłonecznym, rozpatrywanym jako pionowo zawieszane obiekty zamontowane na karniszu, jest najważniejsza. Jakość całego systemu uzależniona jest od jakości tkanin. To od ich cech i parametrów zależy spełnienie na najwyższym poziomie oczekiwań użytkownika.

Należy zwrócić uwagę, że zasłonom zaciemniającym przypisuje się wiele funkcji. Wśród nich należy wymienić takie jak:

- regulacja poziomu światła słonecznego – zaciemnienie,
- separacja względem zewnętrznego światła sztucznego,
- izolacja cieplna w nocy i redukcja energii cieplnej w dzień (kontrola kosztów eksploatacyjnych budynku),
- komfort i bezpieczeństwo snu,
- kontrola efektu olśnienia podczas pracy,
- ograniczenie wpływu nieatrakcyjnego otoczenia,
- zachowanie prywatności w ciągu dnia i nocy,
- zabezpieczenie wyposażenia wewnątrz przed czynnikami starzeniowymi,
- komfort podczas projekcji filmów i innych prezentacji,
- dekoracyjność.

Podstawowa funkcja tkanin blackout, jaką jest zaciemnianie pomieszczeń w zakresie światła zewnętrznego naturalnego i sztucznego, nie stanowiła dotąd przedmiotu zainteresowań naukowców i praktyków. Nie odnotowano dotychczas w literaturze fachowej ani jednej pozycji dotyczącej tkanin zasłonowych barierowych wobec światła widzialnego. Brak też opracowań podejmujących kwestię jakości tych tkanin w powiązaniu z budową strukturalną, cechami surowca i parametrami procesu tkania. Do tej pory pojęcie jakości tkanin typu blackout nie istniało, ponieważ funkcję zaciemniającą pełniła zewnętrzna autonomiczna warstwa powlekana jednorodna, niezależna od struktury tkaniny. Od momentu pojawienia się nowej technologii tkanin zaciemniających tkanych zaistniała potrzeba analizy i kontroli jakości tego typu produktów. Do chwili obecnej nie istniał również problem weryfikacji narzędzi oceny właściwości blackout. Mechanizmy ekranowania światła przez tkaniny wielowarstwowe i powlekane skrajnie się różnią. Dotychczas jakość nie była następstwem działań technologicznych tkackich i współzależnością tak wielu parametrów technologicznych. Po raz pierwszy pojawia się pojęcie „błędów strukturalnych”, będących następstwem standardowego podejścia do projektowania splotów złożonych czy na przykład połączeń warstw w tkaninach wielowarstwowych.

Dotąd nie opracowano normy dedykowanej dla zasłon przeciwsłonecznych, a potrzebnej tym bardziej, że znaczenie słowa „zasłona” w języku polskim odnosi się wyłącznie do tkaniny zawieszanej pionowo na systemie nośnym typu karnisz. Dostępne normy PN-EN 12216:2004 [2] i PN-EN(U) 13120:2005 [10] nie zawierają terminologii, wymagań użytkowych i metodyki oceny dla tkanin zaciemniających stosowanych w budynkach jako pionowe, wolno wiszące zasłony. Terminologia

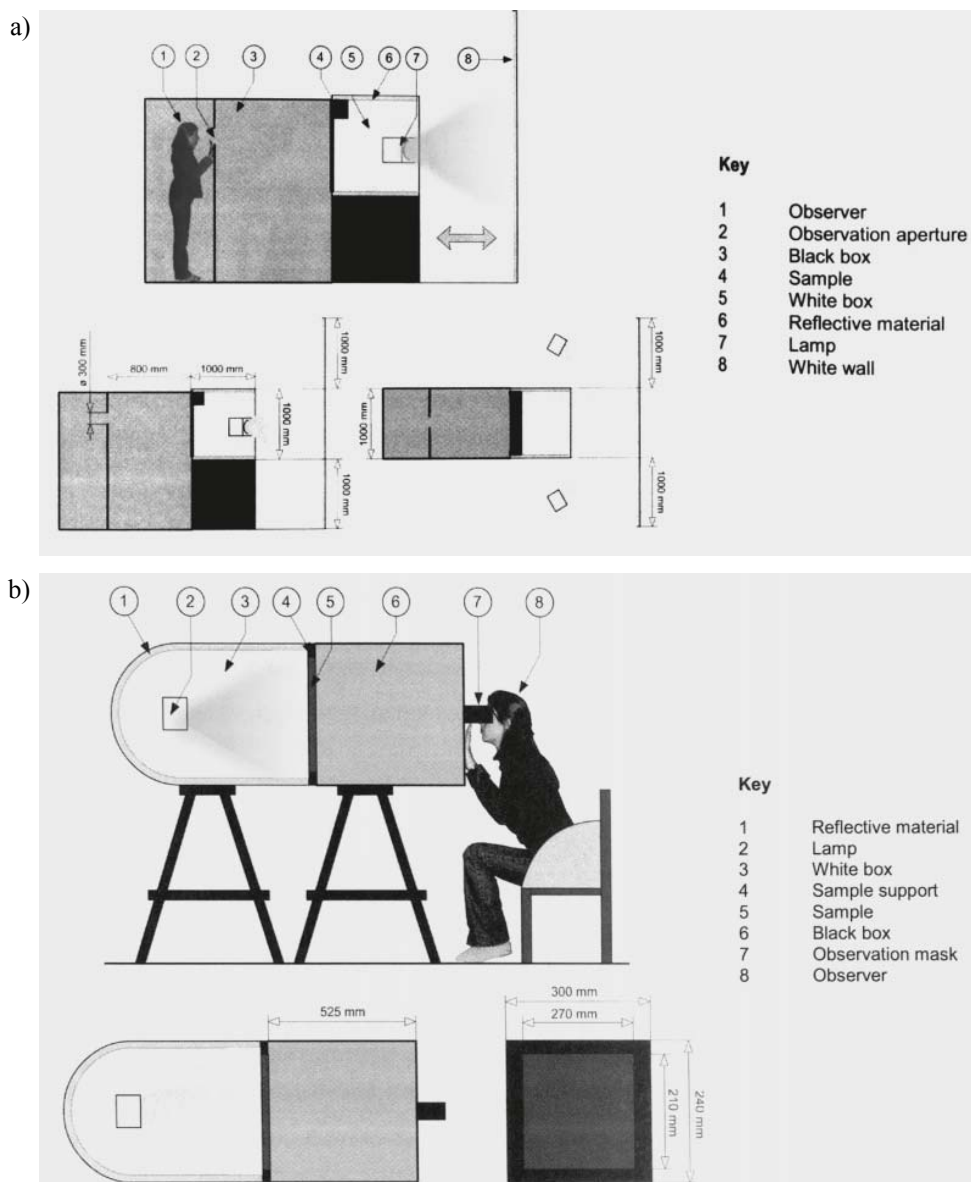
dla osłon okiennych zaciemniających (blackout) i przyciemniających (dimout) pojawia się co prawda w normie PN-EN 12216:2004, ale jedynie w odniesieniu do rolet zwijanych z systemem prowadzącym.

Podstawowa cecha ogólnie przyjętych systemów osłonowych: zaciemnianie czy przyciemnianie przytoczona w normie PN-EN 12216:2004, zdefiniowana jest w normie PN-EN 14501:2005 na stronie 14, pozycja 6.2.3 [1]. Według tej normy istnieją dwa rodzaje zjawisk zaciemnienia: zjawisko pełnego zaciemnienia (blackout) i przyciemnienia (dimout). Wobec powyższego tkaniny zaciemniające dzielimy na: zaciemniające i przyciemniające. Klasyfikacja tkanin i produktów według poziomu właściwości osłonowych powstała w oparciu o poziom natężenia źródła światła blokowanego przez wyrób włókienniczy.

Zaciemnienie, ogólnie ujmując, to stan, w którym człowiek lub inny obiekt nie rejestruje bodźców optycznych pochodzących od źródeł promieniowania świetlnego (naturalnych bądź sztucznych). Stan ten należy rozpatrywać jako poziom energii fal elektromagnetycznych z zakresu widzialnego, który jest poniżej progu pobudzenia receptorów siatkówki. Właściwości zaciemniające (blackout) to zdolność do obniżenia poziomu energii fal elektromagnetycznych (natężenia światła) do zakresu, który jest niewystarczający do pobudzenia receptorów siatkówki. Zatem ocenę zjawiska barierowości należy prowadzić w warunkach odpowiedniego natężenia źródła światła, dostosowanego do warunków maksymalnego natężenia promieniowania zewnętrznego i cech układu optycznego obserwatora. Tkaniny i wyroby zaciemniające posiadają zdolność do tworzenia bariery dla „odpowiedniego” poziomu natężenia światła. Słuszne wydaje się definiowanie jakości tkanin barierowych dla światła widzialnego zgodnie z normą PN-EN 14501:2005. W fotometrii wizualnej stosuje się niejednokrotnie maksymalne natężenie słońca na poziomie 100 000 lx, odnotowane w najbardziej nasłonecznionych miejscach, np. w godzinach południowych, w okresie przesilenia letniego lub w tropikach [12, 13], co koresponduje z założeniami normy PN-EN 14501:2005.

Norma PN-EN 14500:2008 [14] jest jedyną normą, w której porusza się tematykę oceny tkanin i wyrobów blackout. Na stronie 37 znajdują się zasady określania właściwości kryjących dla tkanin dimout i blackout. W paragrafie 7.7 *Determination of opacity characteristic for dimout and blackout fabrics or products* opisano zasady przeprowadzania testów oraz zaproponowano dwie metody oceny jakości zaciemnienia: ekspercką i zautomatyzowaną z użyciem tzw. „elektronicznego oka”.

W metodzie eksperckiej proponuje się ocenę zjawiska barierowości w oparciu o odczucia subiektywne obserwatorów. Zasada testu polega na zasygnalizowaniu wykrycia przez obserwatora światła przechodzącego przez obiekt umieszczony w światłoszczelnym otoczeniu i oświetlony od tyłu. Poniżej na rysunku 3 przedstawiono ideę stanowiska do oceny właściwości produktów (rysunek 3a) i tkanin zaciemniających (rysunek 3b).



Rys. 3. Stanowiska badawcze do oceny właściwości barierowych prezentowane w normie PN-EN 14500:2008: a) produktów zaciemniających typu blackout i dimout, b) tkanin zaciemniających typu blackout i dimout [14]

Zasada oceny eksperckiej nie może być zastosowana w przypadku tkanin zaciemniających wykonanych wyłącznie w technologii tkackiej. Z uwagi na specyfikę przechodzenia światła przez strukturę tkanin zaciemniających i wysoką precyzję oceny jakości struktury tkanin wymagana jest metodyka obiektywna o podwyższonej czułości pomiaru. W tym przypadku mamy do czynienia z zupełnie innym zakresem czułości, który dotychczas nie był istotny podczas analizy struktur powlekanych. Dodatkowo na krytykę zasługuje sposób oświetlenia próbki, który dyskwalifikuje metodę oceny tkanin zaciemniających o strukturze barierowej. Punktowe, a zarazem niejednorodne, oświetlenie struktury tkaniny ograniczy pole widzenia próbki i będzie generować znaczący błąd wyników. Na uwagę zasługuje fakt, że ocenie poddaje się próbki tkanin o wymiarach 200 mm × 200 mm. Z punktu widzenia potrzeby oceny konstrukcji tkanin zaciemniających, z uwzględnieniem wielkości raportu lub kilku raportów wzoru, konieczne jest badanie większego fragmentu struktury tkaniny, takiego jaki zaprezentowano w opisaney normie PN-EN 14500:2008. Wykorzystuje ona alternatywną metodą oceny zjawiska barierowości pozbawioną subiektywizmu oceniającego, tzw. metodę „elektronicznego oka”, czyli komputerową analizę obrazu tkaniny. W pracy dokładnie omówiono tą metodę i wykazano brak wrażliwości na lokalne, punktowe przeswity, które są postrzegane przez użytkownika, lecz nie wpływają istotnie na końcowy wynik oceny barierowości, gdyż oszacowaną wartość przepuszczalności danej tkaniny (g_{sample}) określa się na podstawie wzoru:

$$OP = -\log_{10} \left[1 - \frac{g_{\text{sample}}}{N - 1} \right], \quad (1)$$

gdzie: N – zakres skali szarości,
 $N = 256$ (w przypadku matrycy 8-bitowej),
 g_{sample} – liczba szarych pikseli.

Większość współczesnych metodyk oceny przepuszczalności promieniowania VIS i jej związków ze strukturą tkaniny bazuje na pomiarze transmitancji, zmienia się tylko narzędzie oceny. Zagadnienia te omówiono na podstawie analizy danych zawartych w literaturze przedmiotu [15-34].

Historia oceny zjawiska barierowości wyrobów włókienniczych dla światła słonecznego to lata 90. XX w. Pierwsze normy z zakresu oceny właściwości przeciwsłonecznych odzieży opracowano w Australii i Nowej Zelandii, tj.: AS/NZS 4399:1996 *Sun protective clothing – Evaluation and classification* [15] oraz AS/NZS 2604:1986 *Sunscreen products – Evaluation and classification* [16], a następnie na ich podstawie w kolejnych krajach opracowano normy krajowe np.: w Stanach Zjednoczonych AATCC 183:2004 [21], ASTM D6544 i ASTM D6603; w Europie PN-EN 13758-1:2007, *Tekstyliia – Właściwości ochronne przed działaniem promieniowania UV – Część 1: Metoda badania płaskich wyrobów włókienniczych*

[17]; w Japonii GB/T 18830:2009 *Evaluation for solar ultraviolet radiation protective properties (Japan Garment Association Standard)*. Należy podkreślić, że w Polsce w spisie norm Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nie istnieje żadna norma dotycząca wyrobów zaciemniających będących przedmiotem niniejszej rozprawy [35].

Przeprowadzona analiza metodyk oceny – zarówno z wykorzystaniem metod spektrofotometrycznych, jak i z użyciem autorskich stanowisk badawczych – stała się podstawą do sprecyzowania zasad i warunków własnej metodyki badawczej, wrażliwej na nieregularność struktury tkanin blackout wykonanych w technologii wyłącznie tkackiej. Z uwagi na różne konfiguracje nitek w złożonej strukturze takich tkanin występują wzajemne przemieszczenia nitek pomiędzy warstwami, dochodzi do krzyżowania się nitek (szczególnie w miejscach łączenia warstw). Następstwem tego zjawiska są miejscowe zakłócenia barierowości objawiające się występowaniem prześwitów w strukturze tkaniny. Z tego właśnie powodu należy domniemywać, że stosowane dotychczas punktowe metody pomiaru mogą sprawdzać się dla tkanin zaciemniających powlekanych, mających jednorodną strukturę. Natomiast dla blackoutu tkackich niezbędne jest opracowanie metody wrażliwej na opisane powyżej miejscowe zakłócenia struktury.

Rezultatem postępowania badawczego było zdefiniowanie optymalnych warunków pomiaru właściwości barierowych tkanin zaciemniających wykonanych wyłącznie w technologii tkackiej, niewspomaganych procesami wykończalniczymi, następnie opisanie procedury badawczej i wskaźników oceny tkanin zaciemniających typu blackout. Potrzeba udokumentowania własności barierowych zasłon zaciemniających istnieje szczególnie mocno w odniesieniu do wnętrza użyteczności publicznej. Badania rozpoznawcze ujawniły fizyczną potrzebę obligatoryjnego stosowania odniesień normatywnych w tym obszarze. Tkaniny zaciemniające, występujące na rynku jako produkt, nie doczekały się jeszcze opracowania właściwej terminologii, bez której nie da się opisać produktu ani pod względem jego właściwości użytkowych, ani specjalnych.

2. METODA OCENY WŁASNOŚCI BARIEROWYCH TKANIN ZACIEMNIAJĄCYCH TYPU BLACKOUT. PROPOZYCJA WŁASNEJ METODYKI OCENY ZJAWISKA BARIEROWOŚCI

Podsumowanie problematyki oceny własności barierowych tkanin typu blackout docelowo prowadzi do opracowania obiektywnej metodyki oceny i klasyfikacji tkanin zaciemniających, zwłaszcza tkanin zaciemniających wzorowanych splotowo techniką żakardową.

W pracy przeanalizowano istniejące metody pomiarowe w zakresie możliwości oceny właściwości barierowych tkanin zaciemniających. Pierwsza z nich to

powszechnie stosowana spektrofotometryczna metoda oceny oparta o pomiar punktowy, wykorzystywana obecnie do klasyfikowania tkanin typu blackout. Drugą z analizowanych metod to cyfrowa analiza obrazu. Jako przykład metody powierzchniowej została ona zaadaptowana, stosowana już wcześniej do oceny struktury tkanin i jej cech.

Stwierdzono, że transmisja promieniowania uzyskana z pomiarów spektrofotometrycznych (punktowych) nie może być podstawą do określania przydatności wyrobów zaciemniających, w tym wyrobów wzorowanych splotowo. Na podstawie przeprowadzonej analizy spektrofotometrycznej i uzyskanych wyników poziomu transmitancji dla tkanin zaciemniających wnioskuje się, że prześwity nie mają wpływu na właściwości barierowe tkanin – zatem jest ona nieobiektywna i nie może być stosowana do oceny wyrobów włókienniczych tkanych. Struktura tkacka o konstrukcji pojedynczej czy wielowarstwowej ma charakter niejednorodny (nieciągły), jest odpowiednio wrażliwa na miejscowe zmiany właściwości barierowych i wymaga zastosowania właściwego narzędzia oceny i metodyki.

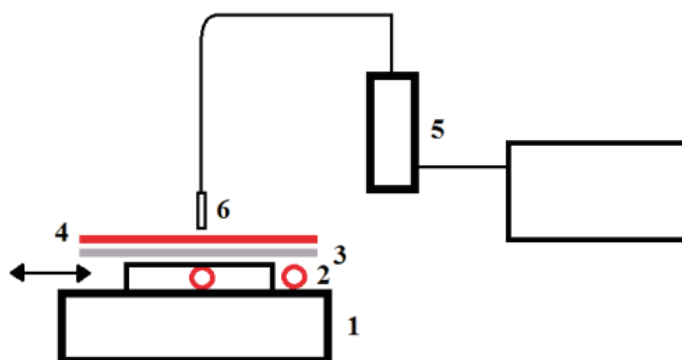
Stwierdzono, że właściwości kryjące tkanin zmieniają się pod wpływem wzorowania splotowego. Wzór żakardowy wprowadza zakłócenia w strukturze tkaniny, generując luzy w przestrzeniach międzynytkowych, których standardowa metodyka oceny nie była w stanie wykryć.

Aktualna wiedza z zakresu mechanizmu powstawania prześwitów oraz charakterystyki ich rozkładu pozwala stwierdzić, że do analizy struktur tkanin wielowarstwowych, w zakresie ich własności optycznych, należy stosować metody oparte o pomiar powierzchniowy lub inne, w których wynik odnosi się do większego, dobrze zdefiniowanego obszaru: raportu wzoru lub kilku raportów dla tkanin drobnowzorzystych. Powierzchniowe metody oceny, takie jak cyfrowa analiza obrazu dostarczają o wiele więcej informacji oraz dają dokładniejsze poznanie zmienności struktury tkaniny. Analiza tej zmienności pozwala na określenie dopuszczalnego progu barierowości multifunkcyjnych struktur tkanych o właściwościach blackout w celu dalszej klasyfikacji tego typu tkanin. Przede wszystkim zastosowanie cyfrowej analizy obrazu zweryfikowało ocenę subiektywną oceną obiektywną. Zgodność wyników oceny obiektywnej z wrażeniem subiektywnym ma w tym przypadku duże znaczenie. Ostateczna aprobata użytkownika jest uzależniona od pozytywnego wrażenia wzrokowego, czyli oceny subiektywnej. Rzeczą naturalną jest fakt, że brak technologii wielofunkcyjnej tkaniny zasłonowej, to również brak dostępnych narzędzi oceny nowej struktury. W pracy wykazano, że tkaniny zaciemniające tkane powinny posiadać własną metodykę oceny zjawiska barierowości. Nowe konstrukcje tkanin zaciemniających wzorowane splotowo w zakresie jednej z warstw zewnętrznych to nowe konstrukcje tkanin o rozpoznanych, specyficznych cechach struktury i szerszym zastosowaniu.

2.1. Budowa stanowiska badawczego do oceny właściwości zaciemniających tkanin typu blackout

Autorska metodyka oceny tkanin typu blackout opracowana została z myślą o dalszym jej wykorzystaniu w przemyśle. Idea metodyki wiąże się ze śledzeniem zmienności struktury tkaniny i detekcją prześwitów w świetle przechodzącym oraz wyrażeniu tej zmienności intensywnością światła przechodzącego, a także zdefiniowaniem wskaźników oceny barierowości powiązanych z natężeniem źródła światła. Podstawą analizy jest poziom maksymalnego natężenia światła w prześwicie oraz natężenia minimalnego pochodzącego z tła tkaniny. Punktem odniesienia dla nowej metodyki oceny tkanin typu blackout są dotychczas publikowane doniesienia normatywne. Dokładną i jedyną klasyfikację tkanin zaciemniających przedstawia norma PN-EN 14501:2005 [1]. Według tej normy istnieją dwa rodzaje tkanin zaciemniających: blackout i dimout. Zaproponowanym kryterium podziału jest poziom natężenia światła, dla którego wyroby te stanowią barierę. Zatem tkaniny blackout to takie, które ekranują światło o natężeniu 100 000lx, natomiast tkaniny dimout zatrzymują światło o natężeniu 1 000lx. W części teoretycznej rozprawy zaprezentowano fragment normy z klasyfikacją tkanin oraz produktów zaciemniających (systemów zaciemniających) według nieprzeźroczystości, zawartą w normie PN-EN 14501:2005. Nowa metodyka oceny zjawiska barierowości wyrobów tekstylnych powinna odnosić się w swojej procedurze do powyższej klasyfikacji. Warunki oświetlenia próbek i parametry źródła światła przyrządów i stanowisk badawczych powinny być dokładnie określone i kompatybilne z normą PN-EN 14501:2005 [1]. Natomiast w powszechnie stosowanej procedurze badawczej PR/17/2007 [18] źródło światła stanowi układ optyczny spektrofotometru, a dla procedury amerykańskiej AATCC TM 148-2015 [19] nie sprecyzowano cech charakterystycznych źródła światła. Niestety, norma PN-EN 14501:2005 nie uwzględnia podstawowego podziału tkanin zaciemniających w zależności od technologii wytwarzania na powlekanie i tkackie. Zatem warunki opisane w normie nie są dostosowane do oceny przepuszczalności światła dla tkanin zaciemniających wytworzonych wyłącznie w technologii tkackiej. Natężenie źródła światła nie odnosi się do realnych warunków stosowania takich tkanin. Na użytek niniejszej pracy prowadzono badania, których wynikiem było ustalenie maksymalnego natężenia światła słonecznego w środkowej Europie, które nie przekracza 68 000 lx. Do budowy własnego stanowiska badawczego wykorzystano źródło światła w postaci świecącej powierzchni panelu LED [36] emitującego światło o mocy 1 260 lm (18 W), o wymiarach 220 mm × 220 mm i natężeniu maksymalnym 60 000 lx. Z jego użyciem identyfikowano rozkład prześwitów i budowę strukturalną tkanin. W dalszym etapie badań planuje się wykorzystanie powyższego stanowiska do celów poznawczych mechanizmu tworzenia

się prześwitów i jego powiązania z geometrią struktury tkanin oraz do opracowania obiektywnej metody oceny zjawiska barierowości wyrobów zaciemniających tkanych. Dla potrzeb nowej metodyki zostało skonstruowane stanowisko badawcze z wykorzystaniem omówionego panelowego źródła światła LED. Układ pomiarowy składał się ze stolika przesuwnego z zadaniem krokiem przesunięcia 0,01 mm (1) wyposażonego w śruby mikrometryczne (2), na którym spoczywało źródło światła (3) z próbką tkaniny (4). Głównym elementem pomiarowym był spektrometr (5) HR 2000+ firmy Ocean Optics (USA) wyposażony w światłowód z dyfuzorem (6), osadzony w ramieniu statywu nad próbką tkaniny. Spektrometr podłączony został do komputera (7) za pomocą łącza USB. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 4.

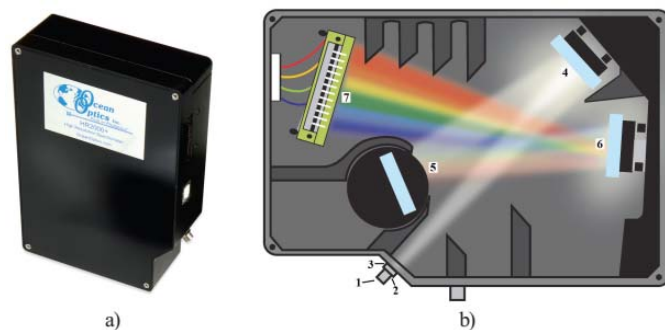


Rys. 4. Elementy stanowiska badawczego do oceny właściwości zaciemniających tkanin typu blackout
Źródło: materiały własne.

Na podstawie zarówno analizy norm i procedur badawczych, jak i danych pochodzących z źródeł bibliograficznych sprecyzowano cechy istotne stanowiska badawczego:

- źródło światła równomiernie oświetlające powierzchnię próbki,
- natężenie źródła światła odwzorujące maksymalne natężenie światła dziennego,
- ewentualna regulacja natężenia za pomocą filtrów stwarzająca możliwość dostosowania natężenia źródła światła do warunków pomiaru,
- mobilność stanowiska w dwóch osiach: X i Y zapewnia stół przesuwny, co umożliwi obserwację i rejestrowanie zmian w układzie osnowy oraz wątku,
- wynik stanowi odczyt wartości maksymalnych intensywności światła w jednostkach względnych.

Integralną część układu optycznego stanowiska badawczego stanowi spektrometr. Widok i budowę spektrometru przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. spektrometr: a) widok spektrometru, b) elementy optyczne spektrometru.
HR 2000+ 1 – wejście, 2 – uszczelnienie szczeliny, 3 – filtr, 4, 6 – lustra kolimacyjne, 5 – odbiciowa siatka dyfrakcyjna, 7 – detektor [37].

Do ramienia przyrządu zamocowana została końcówka światłowodu spektrometru zwana dyfuzorem (rys. 6). W celu jej stabilizacji w osi prostopadłej do badanej powierzchni zostały zaprojektowane uchwyty zamocowane na ramieniu przyrządu. Końcówka ta ustawiona została nad próbką w odległości 1 mm. Spektrometr jest obsługiwany przez program „Spectra Suite”, który wyniki przedstawia w formie graficznej i w postaci danych liczbowych [38].



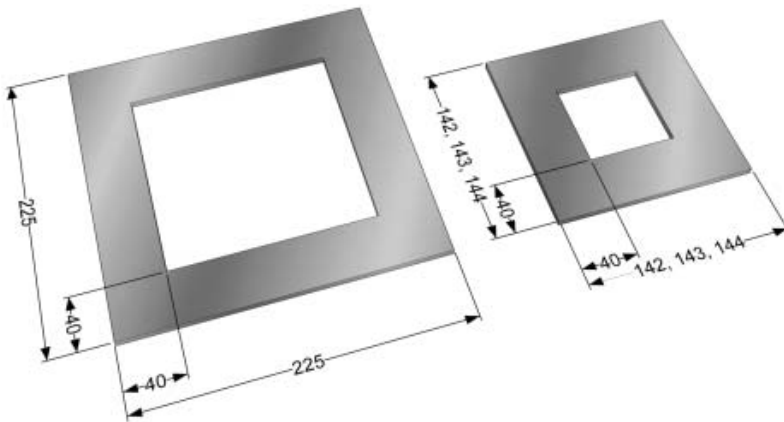
a)



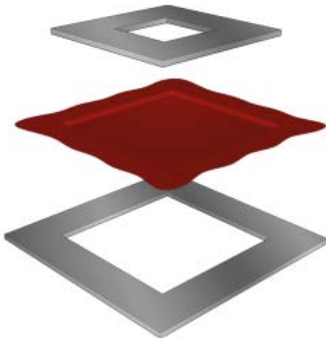
b)

Rys. 6. Światłowód (a) z dyfuzorem (b)
Źródło: materiały własne.

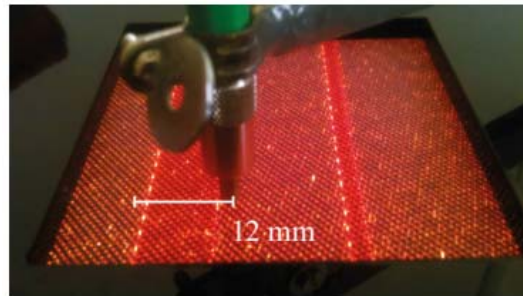
Próbki tkanin mocowane były w ramach gwarantujących dokładne przyleganie do źródła światła spoczywającego na przesuwym stoliku przyrządu. Próbka tkaniny, która w założeniu ma przykrywać źródło światła, musi pozostawać w stanie rozprostowanym, przy czym niezbędne jest wywołanie niewielkiego naprężenia. Takie napięcie, które imituje warunki rzeczywistego, pionowego zawieszenia tkanin zapewniał system mocowania próbek w ramach. Skonstruowano zestawy ramek z tworzywa sztucznego w kolorze czarnym o grubości 5 mm według rysunku 7. Tkaninę umieszcza się pomiędzy złożonymi ze sobą ramkami według sposobu przedstawionego na poniższym rysunku.



a) zestaw ramek do mocowania tkanin



b) ramki z tkaniną



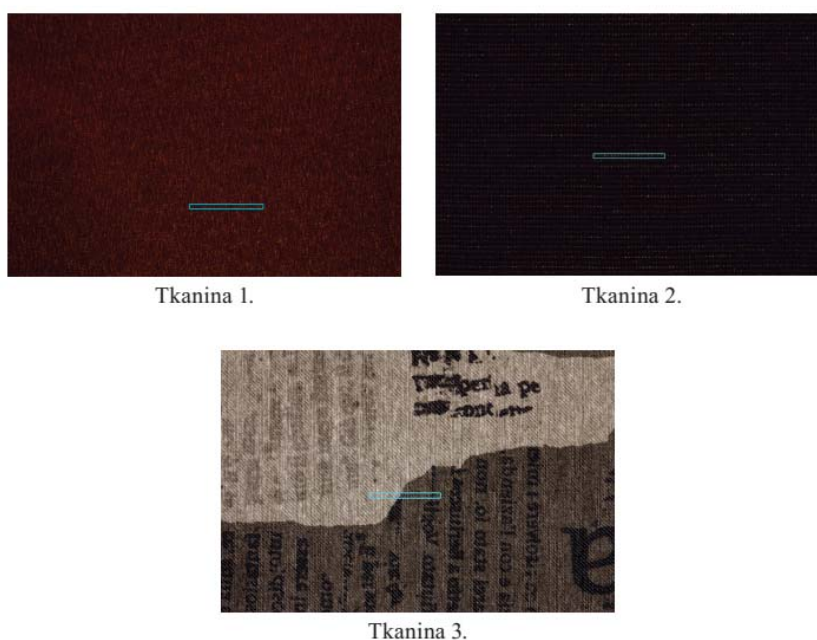
c) widok zamontowanej tkaniny w ramach podczas wykonywania badań

Rys. 7. Elementy stanowiska badawczego – system mocowania próbek tkanin:
 a) zestaw ramek do mocowania próbek tkanin, b) wizualizacja ramek z tkaniną,
 c) widok zamontowanej tkaniny.

Źródło: materiały własne.

2.2. Walidacja metody

Walidację stanowiska przeprowadzono na importowanych tkaninach zaciemniających monostrukturalnych o potwierdzonej barierowości. Spośród wszystkich tkanin zaciemniających, prezentowanych w tej rozprawie, został wybrany taki materiał badań, który prezentował maksymalnie zróżnicowane przypadki przechodzenia światła przez strukturę tkanin. Były to trzy tkaniny, które w warunkach światła przechodzącego ujawniły odmienny poziom szczelności struktury dla światła. Obrazy struktur tkanin zarejestrowane podczas prowadzonych badań fotometrycznych przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Widok struktur badanych tkanin zaciemniających w warunkach pomiaru
Źródło: materiały własne.

Struktury przedstawione na rysunku 8 ujawniają w świetle przechodzącym różnice intensywności i charakteru przechodzenia światła. Analiza charakterystycznych przypadków struktur tkanin zaciemniających ma służyć opracowaniu metodyki oceny właściwości barierowych tkanin, tzn. metodyki wystarczająco wrażliwej, obiektywnej oraz użytecznej dla szerokiego kręgu odbiorców. W przypadku tkaniny 1 odnotowano zjawisko negatywnego, niejednorodnego przechodzenia światła przez strukturę, gdzie zmiany natężenia światła widoczne są na całej jej powierzchni. Struktura ujawnia nieregularne skupiska prześwitów, przez które przechodzi światło o zróżnicowanym natężeniu. Tkanina 2 posiada bardzo szczelną

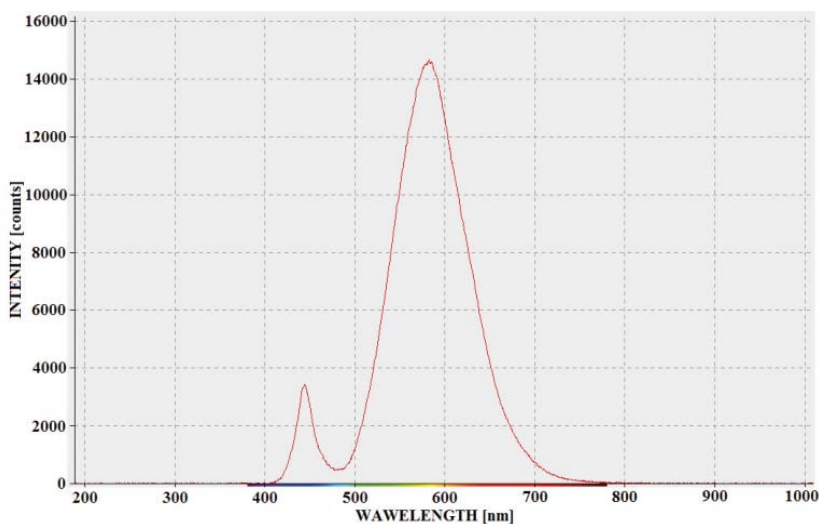
dla światła strukturę, natomiast zaobserwowano przechodzenie światła w postaci pojedynczych prześwitów. Wówczas natężenie światła z całej struktury tkaniny jest stosunkowo małe, ale w prześwitach może przyjmować wartości maksymalne, a więc znaczące dla jakości tkaniny. W tkaninie 3 nie ma prześwitów, jednak światło przechodzi przez całą tkaninę, przy czym charakteryzuje się ono obniżonym natężeniem, ponieważ jest równomiernie tłumione przez strukturę tkaniny. Tłumienie to nie koresponduje z oczekiwaniami, jakie powinna spełniać funkcyjna tkanina zaciemniająca. Struktury badanych tkanin charakteryzują się różnym sposobem tłumienia światła, stąd należy wnioskować, że właściwości zaciemniające tkanin blackout nie mogą być opisywane za pomocą wyłącznie jednego parametru. Niezbędna jest ocena właściwości barierowych tkanin, wyrażona dopuszczalnym minimalnym poziomem barierowości, który uwzględni możliwości uzyskania szczelności strukturalnej dla światła VIS w wyrobach tkanych. Wartości intensywności promieniowania przechodzącego powinny zawierać się w ustalonym przedziale, co można opisać średnią i rozrzutem tych wartości. Poziom dopuszczalny intensywności i rozrzut zostanie zdefiniowany eksperymentalnie w oparciu o uzyskane wyniki dla tkaniny referencyjnej.

Drugim parametrem oceny powinna być maksymalna intensywność światła przechodzącego z prześwitów, przy czym dopuszczalny próg intensywności maksymalnej zostanie wyznaczony również w toku badań eksperymentalnych. Z punktu widzenia obserwatora/użytkownika ważny jest nie tylko poziom zaciemnienia pomieszczenia, za który odpowiada struktura tkaniny, a także jej równomierność, czyli brak zróżnicowania natężenia promieniowania przechodzącego przez tkaninę, równoznaczny z brakiem prześwitów.

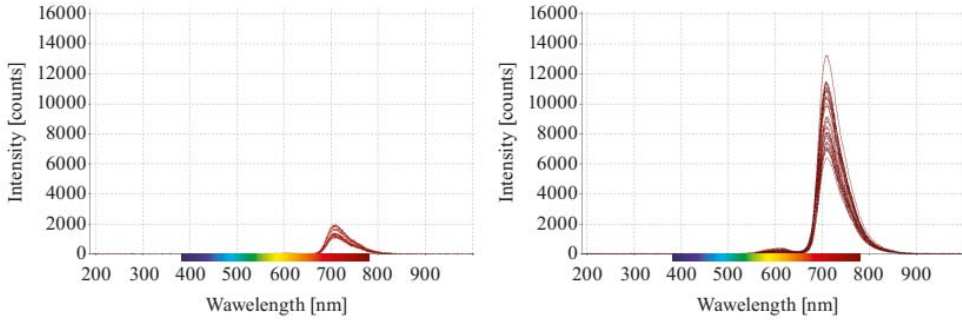
Przypadek tkaniny 1, opisany w oparciu o analizę zjawiska przechodzenia światła przez tkaniny referencyjne przedstawione na rysunku 8, świadczy o poprawności budowy strukturalnej przy braku odpowiedniego zagęszczenia struktury nitkami. Kolejny przypadek osobliwego charakteru przechodzenia światła przez strukturę tkaniny 2 wywołuje równie negatywne odczucia. W strukturze tkaniny obserwuje się prześwity o znacznie wyższym natężeniu światła przechodzącego niż w pozostałej części struktury. Tkanina 2 może spełniać warunek barierowości, występujące nieliczne prześwity mogą wpływać w sposób bardzo nieznaczny na obniżenie właściwości zaciemniających, natomiast z punktu widzenia klienta są one niedopuszczalne. Te powtarzające się pojedyncze prześwity występujące na całej powierzchni próbki tkaniny, z uwagi na układ sekwencyjny, cykliczność i poziom natężenia kontrastujący z natężeniem pozostałej części struktury, wpływają na ich łatwe rozpoznawanie. W efekcie dochodzi do wzmocnienia negatywnego odbioru przez użytkownika. Należy stwierdzić, że niekorzystne są oba opisane powyżej zjawiska, co potwierdza postulat konieczności kontroli szczelności i równomierności konstrukcji tkanin zaciemniających, jak również kontroli skrajnych wartości natężenia światła pochodzącego także przez strukturę „zamkniętą”, czyli tło. Jest to właściwe podejście do oceny zjawiska barierowości

światłej z punktu widzenia późniejszej oceny tkanin zaciemniających żakardowych. Obserwacja materiału badań doprowadziła do konkluzji o konieczności wdrożenia dwuparametrycznych pomiarów intensywności światła przechodzącego, wskazała też dwa wskaźniki oceny, na których bazie należy zbudować kryteria oceny tkanin zaciemniających.

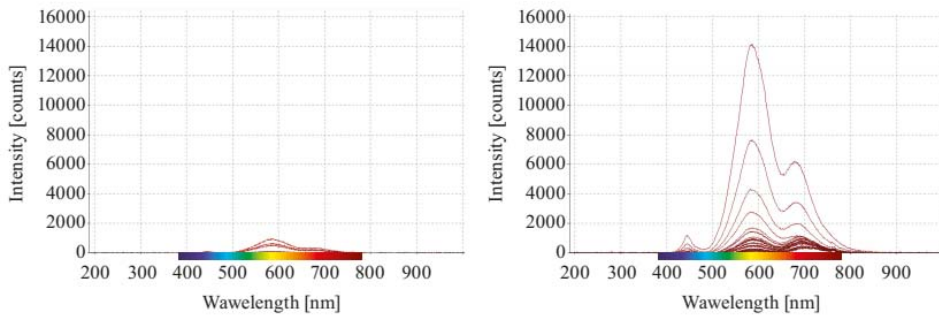
Przed przystąpieniem do analizy struktur tkanin na stanowisku badawczym zarejestrowano dane kalibracyjne spektrometru udostępnione przez producenta – firmę Ocean Optics. Każdy pomiar intensywności promieniowania (I) wymagał ustawienia czasu integracji. Jest on odpowiednikiem czasu ekspozycji w aparacie fotograficznym. Odpowiedni czas integracji wpływa na dokładność pomiaru; im jest dłuższy, tym dłużej następuje zliczanie fotonów przez detektor. Nie może być jednak zbyt długi, gdyż wystąpi nasycenie przetwornika i utrata możliwości określenia poziomu natężenia. Czas integracji należy dostosować do poziomu zaciemnienia każdej tkaniny, to znaczy do maksymalnego natężenia rejestrowanego z próbki. Wówczas wynik pomiaru znajdzie się w tak zwanym użytecznym zakresie pomiarowym. Instrukcja programu Spectra Suite określa, że aby uzyskać wynik reprezentatywny należy stosować czas integracji, dla którego wartość maksymalna z pomiaru przyjmie ok. 85% całkowitego zakresu skali pomiarowej. Każdy pomiar poprzedza kompensacja szumów wewnętrznych urządzenia przy pomocy opcji „dark current”, poprzez zapisanie warunków referencyjnych [49]. Rejestracja tych warunków odbywa się w warunkach zaciemnienia stanowiska pomiarowego. Po przygotowaniu urządzenia do badań zapisano warunki referencyjne źródła światła. Rysunek 9 prezentuje charakterystykę spektralną źródła światła LED.



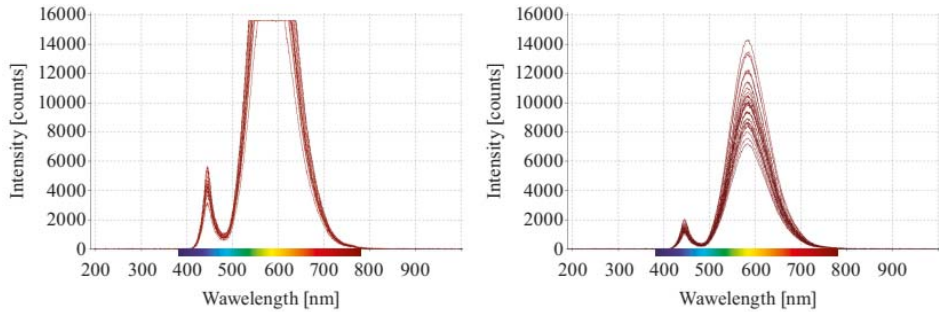
Rys. 9. Charakterystyka spektralna źródła światła dla czasu integracji 4 ms



Tkanina 1.



Tkanina 2.



Tkanina 3.

Rys. 10a. Analiza intensywności światła przechodzącego (I) w funkcji długości fali (λ) dla stałego czasu integracji $T_i = 500$ ms

Rys. 10b. Analiza intensywności światła przechodzącego (I) w funkcji długości fali (λ) dla czasów integracji indywidualnie dostosowanych dla każdej próbki, odpowiednio: 3000 ms; 4000 ms; 250 ms

Wyniki pomiarów zapisywano w postaci danych liczbowych w formie tabeli i graficznych prezentacji intensywności (I) wyrażonej w jednostkach względnych (jw) w funkcji długości fali (λ) wyrażonej w nanometrach (nm). Analizowano strukturę tkaniny na odcinku 12 mm, co pozwoliło objąć badaniem kilka raportów splotu, a w nich miejsca charakterystyczne – prześwity. Zakres pomiaru można

jednak zwiększyć do wymiaru wewnętrznego ramek mocujących tkaniny. Mobilność stolika stanowiska badawczego umożliwiła zapis ciągły charakterystyki spektralnej na zdefiniowanym odcinku struktury tkaniny. Dla potrzeb prezentacyjnych uproszczono zapis ciągły, tzn. z animacji wyselekcjonowano występujące po sobie kadry, czyli charakterystyki widmowe intensywności z powierzchni tkaniny. Analizowano 30 kadrów dla każdej z tkanin prezentowanych na rysunku 8, zarejestrowanych w jednakowych odstępach czasu. Rezultatem analizy fotometrycznej struktur tkanin blackout są wykresy graficzne intensywności sygnału (I) dla długości fali (λ) w zakresie 380-780 nm, powstałe w wyniku nałożenia 30 charakterystyk widmowych z każdej struktury tkaniny. Wyniki analizy przedstawiają poniższe rysunki: rysunek 10a prezentuje zapis charakterystyki spektralnej badanych tkanin dla stałego czasu integracji 500 ms, rysunek 10b prezentuje zapis charakterystyki spektralnej badanych tkanin dla czasów integracji indywidualnie dobranych dla każdej próbki tkaniny.

Wyniki analizy intensywności światła przechodzącego (I), uzyskane metodą liniowego śledzenia dla tych samych czasów integracji, pokazują szeroką rozpiętość poziomu barierowości badanych tkanin. Mogą one służyć do wstępnego, orientacyjnego porównania struktur. Różnice między intensywnością promieniowania przechodzącego przez tkaniny były tak duże, że nie pozwoliły na porównanie wyników w tym samym czasie integracji. Dostosowanie czasu integracji do poziomu właściwości zaciemniających każdej tkaniny było, z punktu widzenia dalszej oceny ilościowej światła przechodzącego, niezbędne. Dla tkaniny 1 maksymalną wartość natężenia ze struktury tkaniny zarejestrowano dla czasu integracji 3000 ms, dla tkaniny 2-4000 ms, a dla tkaniny 3-250 ms. Analiza i dalsze wnioskowanie opierało się na porównaniu amplitud intensywności w zakresie: maksymalnego natężenia z prześwitu, częstotliwości występowania oraz rozkładu zmienności. W analizie pominięto aspekt przesunięć charakterystyk widmowych dla poszczególnych próbek, czyli wpływ koloru na wynik analizy. Jednak należy zwrócić uwagę na relacje położenia pików maksymalnych względem pików referencyjnego źródła światła. W bieżącej analizie pik maksymalny intensywności źródła światła obserwowany był w przedziale długości fali 550-600 nm odwzorowującej barwę źródła światła. Zatem położenie charakterystyki widmowej pochodzącej z analizy intensywności próbki tkaniny utwierdza w przekonaniu, że analizowane miejsce jest prześwitem. Dla kontrastu, położenie widm pochodzących z analizy właściwości zaciemniających metodą spektrofotometryczną, prowadzoną zgodnie z procedurą badawczą PB/17/2007, odwzorowuje barwę przędzy i świadczy, że przedmiotem analizy jest nitka, a nie prześwit. Obserwacja większego zakresu pomiarów, pochodzących z animacji, pozwoliła na ocenę zmienności struktury tkanin. Z analizy prezentowanej na rysunku 10b można wstępnie wnioskować, że charakterystyki spektralne intensywności w sposób ilościowy interpretują

jakość struktury. Koncentracja i ilość maksimumów odpowiada częstotliwości występowania prześwitów. Skupienie wyników wokół minimum świadczy o szczelności struktury.

Należy zwrócić uwagę, że dzięki metodyce liniowego śledzenia struktury tkanin, możemy obserwować zarówno wartości maksymalne, jak i minimalne. Wartości maksymalne dostarczają informacji o prześwitach, natomiast minima pokazują ogólną jakość struktury tkaniny zaciemniającej poza prześwitami, czyli jakość tła. Na podstawie charakterystyki skrajnego przypadku, tj. tkaniny 3, gdzie występują wyłącznie maksima, można wnioskować o braku szczelności struktury. W przypadku tkaniny 2 koncentracja dużej ilości widm w otoczeniu minimum oraz jednostkowe maksima świadczą o poprawnej budowie barierowej struktury tła tkaniny, a także o występowaniu pojedynczych prześwitów o znacznie wyższej intensywności światła przechodzącego od tła. Maksymalną wartość piku odpowiadającą maksymalnemu natężeniu z prześwitu odczytywano z tabeli wyników programu Spectra Suite. Natomiast porównanie maksymalnych wartości intensywności w prześwitach dla badanych tkanin jest możliwe po wprowadzeniu współczynnika korygującego „a”, wynikającego z zastosowania różnych czasów integracji. Jest on zdefiniowany jako iloraz maksymalnego czasu integracji w próbie ($T_{i_{max}}$) i czasu integracji n-tego pomiaru (T_{i_n}), co opisuje formuła 2.

$$a = \frac{T_{i_{max}}}{T_{i_n}}, \quad (2)$$

Intensywność promieniowania z prześwitów (I_0), skorygowana o wartość współczynnika „a”, obrazuje rzeczywistą intensywność promieniowania przechodzącego przez tkaninę (I) i wynosi:

$$I = I_0 \cdot a, \quad (3)$$

gdzie: I_0 – wartość intensywności światła przechodzącego z pomiaru, jw,
 a – współczynnik korygujący zmienny czas integracji.

Dodatkowo, z uwagi na fakt, że spektrum źródła światła jest nieliniowe, należy wnioskować, że jedna wartość maksimum nie jest reprezentatywna. Niezbędne wydaje się więc zsumowanie wartości intensywności dla istotnego przedziału długości fali, tzn. całego zakresu VIS. W przeciwnym przypadku odczyty maksimum należałoby wykonać dla tej samej częstotliwości, dla której odnotowano maksimum źródła światła. Nie jest to jednak możliwe z uwagi na wpływ koloru tkanin na charakterystykę widmową. Z uwagi na zastosowanie różnych czasów integracji, sumy wartości intensywności również skorygowano współczynnikiem „a”. Natomiast, zgodnie z założeniem o równomierności źródła światła, sumę intensywności źródła światła zwielowrotniono trzydziestokrotnie, uwzględniając w ten sposób ilość pomiarów odpowiadających 30 kadrom pochodzącym z animacji, przy czym sumę intensywności dla źródła światła również skorygowano

współczynnikiem „a”. Przepuszczalność P [%], po odniesieniu do intensywności źródła światła z zachowaniem jednakowej skali czasu integracji dla wszystkich pomiarów, wyrażona jest wzorami 4 i 5, przy czym formułę 4. stosuje się dla analizy intensywności światła z prześwitu, natomiast formułę 5 dla analizy sumy intensywności światła przechodzącego na badanej powierzchni:

$$P_i = \frac{I_{tk}}{I_{\acute{s}w}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

$$P_n = \frac{\sum I_{tk}}{\sum I_{\acute{s}w}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

gdzie: I_{tk} – intensywność promieniowania mierzona z próbką tkaniny, jw,
 $I_{\acute{s}w}$ – intensywność referencyjna źródła światła, jw,
 $\sum I_{tk}$ – suma intensywności promieniowania mierzona z próbką tkaniny dla zakresu VIS 380-780 nm, jw,
 $\sum I_{\acute{s}w}$ – suma intensywności promieniowania dla źródła światła.

W oparciu o uzyskane wartości przepuszczalności (P) wyznaczono zdolność do zaciemniania tkaniny (Z_{tk}), którą opisują formuły:

$$Z_{tk,i} = 100 - P_i, \% \quad (6)$$

$$Z_{tk,n} = 100 - P_n, \% \quad (7)$$

gdzie: $Z_{tk,i}$ – zdolność do zaciemniania w prześwicie, %
 P_i – przepuszczalność światła przez strukturę tkaniny w prześwicie, %
 $Z_{tk,n}$ – zdolność do zaciemniania na badanym odcinku struktury tkaniny, %
 P_n – przepuszczalność światła przez strukturę tkaniny na badanym odcinku struktury tkaniny, %

Podsumowanie analizy oceny zjawiska barierowości dla tkanin typu blackout, wykonanej metodą liniowego śledzenia struktury, prowadzoną na podstawie informacji o intensywności maksymalnej z prześwitów oraz sum intensywności z analizowanej powierzchni przedstawiono w tabeli 1. Przy czym sumy intensywności światła zostały obliczone jako pola powierzchni pod wykresami prezentowanymi na rysunku 10b.

Tabela 1. Podsumowanie analizy oceny fotometrycznej maksymalnego natężenia z prześwitów prowadzoną z użyciem własnej metody badawczej – liniowego śledzenia struktury tkanin

Parametr	Źródło światła	Tkanina 1	Tkanina 2	Tkanina 3
Czas integracji T_i , ms	4	3 000	4 000	250
Współczynnik korygujący „a”	1000	1,(3)	1	16
Wartość intensywności maksymalnej z pomiaru I_0 , jw	14 781	13 183	14 129	14 171
Intensywność maksymalna skorygowana I , jw	14 781 000	17 577	14 129	226 736
P_i , %	–	0,119	0,096	1,534
$Z_{tk,i}$, %	–	99,881	99,904	98,466
ΣI_0 dla 380-780 nm, jw	313 989 180	111 383 645	38 367 298	212 109 638
ΣI dla 380-780 nm, jw	313 989 180 000	148 511 526	38 367 298	3 393 754 207
P_n , %	–	0,047	0,012	1,081
$Z_{tk,n}$, %	–	99,953	99,988	98,919

W pierwszej kolejności podstawą oceny właściwości zaciemniających tkanin była maksymalna intensywność światła z prześwitu. Na podstawie wyników intensywności maksymalnej skorygowanej (I) można stwierdzić, że tkanina 2 posiada najniższą, najkorzystniejszą intensywność z prześwitu. Również w ocenie wizualnej posiada bardzo szczelną strukturę tła. Skrajnie różny przypadek prezentuje tkanina 3, dla której intensywność z prześwitu miała najwyższą wartość (szesnastokrotnie wyższą od tkaniny 2); również w odczuciu odbiorcy tkanina ta przepuszczała największą ilość światła. W oparciu o obliczone wartości parametrów przepuszczalności (P_i) i zdolności do zaciemnienia ($Z_{tk,i}$) prezentowane w tabeli 24 można również wnioskować, że tkanina 3 posiada właściwości zaciemniające na najniższym poziomie. Tkaniny 1 i 2 tworzą barierę dla światła, gdyż tłumią światło pochodzące z prześwitu, przepuszczając jedynie ok. 0,1%, podczas gdy tkanina 3 przepuszcza blisko 1,5% całkowitego promieniowania emitowanego przez źródło światła.

Analiza sum wartości intensywności skorygowanych współczynnikiem „a” wskazuje, że najmniejszą ilość światła przechodzącego zarejestrowano dla tkaniny 2 (38 367 298 jw.), która tłumi o 74% więcej światła niż tkanina 1 (148 511 526 jw.) oraz o 99% więcej niż tkanina 3. Wskaźniki barierowości, wyznaczone na podstawie sum wartości I , tj.: przepuszczalność światła (P_n) dla tkaniny 1 i tkaniny 2 wynosiły odpowiednio 0,047 i 0,012%, natomiast zdolność do zaciemnienia ($Z_{tk,n}$) obliczono, odpowiednio dla tkanin 1 i 2, na poziomie 99,953% i 99,988%.

W porównaniu z wynikami komputerowej analizy obrazu tkanin dla tkaniny 1 uzyskano wyniki rozbieżne; intensywność z prześwitu oraz intensywność na badanym odcinku struktury zarejestrowano z wyższymi wartościami niż dla tkaniny 2.

Jednocześnie tkanina ta ma większą zdolność do zaciemniania, ponieważ nie posiada prześwitów. Zjawisko to należy tłumaczyć odmiennymi właściwościami optycznymi przędzy, które ujawniły się w kontakcie ze światłem o stosunkowo dużej intensywności. Analiza sum intensywności światła przechodzącego ujawniła jeszcze większe różnice między badanymi tkaninami. Tkanina 3, w porównaniu z tkaninami 1 i 2, posiada przepuszczalność światła dwudziestotrzykrotnie większą, co wpływa na niższą zdolność do zaciemniania ($Z_{tk,n} = 99,948\%$). Zatem tkanina 3 nie tylko przepuszcza światło przez prześwity, przepuszcza też światło o stosunkowo dużej intensywności całą powierzchnią lub, ujmując rzecz inaczej, tłumi światło na bardzo niskim poziomie. Zgodnie z oceną wizualną, popartą obliczonymi wskaźnikami oceny, tkanina 3 prezentuje znacząco niższy poziom barierowości dla światła VIS. Wyniki analizy potwierdziły fakt, że obserwowany niski poziom zaciemnienia może być albo skutkiem występowania prześwitów w strukturze, albo konsekwencją konstrukcji tła o niskiej szczelności dla światła, która może również wynikać z niekorzystnych właściwości optycznych przędzy. Wartości $Z_{tk,i}$ i $Z_{tk,n}$, bliskie 100%, nie należy kojarzyć ze stuprocentową zdolnością do zaciemnienia. Rozpatrujemy tkaniny, które projektowane były tak, aby osiągnąć efekt zaciemnienia pomieszczeń. Efekty te są lepsze lub gorsze, ale różnice są bardzo małe, rozpoznawalne i mierzalne tylko w warunkach laboratoryjnych, a w warunkach rzeczywistego użytkowania mniej znaczące. Zatem przyjmuje się wartość zaciemnienia dla tkanin typu blackout na poziomie przynajmniej 99,9%. Porównując wyniki uzyskane dla tkaniny 1 i tkaniny 2 z odczuciem subiektywnym (patrz rysunek 8), widać niezgodność. Prezentowane tkaniny w różny sposób reagowały w kontakcie ze źródłem światła o tak dużej intensywności. Warunki laboratoryjne różnią się od tych, w których zaciemniająca tkaniny będą użytkowane. W warunkach naturalnych tkaniny te najczęściej nie będą miały kontaktu z tak dużym natężeniem światła (ponad 60 000lx) lub, tylko w jednostkowych przypadkach, może się zdarzyć, że będą ekranować światło słoneczne o takim natężeniu. W bezpośrednim kontakcie ze źródłem światła ujawniły się mikroprześwity i efekt „wzbudzenia” przędzy. Takim zjawiskiem należy tłumaczyć niezgodność wyników fotometrycznych uzyskanych dla tkaniny 1 z oceną wizualną i oceną prowadzoną zgodnie z procedurą komputerowej analizy obrazu.

W tym miejscu analizy należy podać wartość graniczną intensywności światła (I_g) równoznaczną z dopuszczalnym poziomem barierowości świetlnej dla tkanin zaciemniających, powyżej którego tkanina traci właściwości barierowe. Taką wartość intensywności zdefiniowano w oparciu o wykonany eksperyment, którego

jednym z celów był wybór tkaniny o cechach referencyjnych. Na podstawie wyników prezentowanych na rysunku 10a. zdecydowano, że struktura tkaniny 2 nosi cechy struktury referencyjnej. Wartość graniczna intensywności (I_g) wynosi 1000 jw dla czasu integracji 500 ms, zatem dla zmiennych czasów integracji korzystamy z proporcjonalnego przeliczenia wartości intensywności. Zgodnie z przyjętymi kryteriami, wyznaczone progi barierowości pozwalają na klasyfikację tkanin blackout. Tkanina 3 nie spełnia kryterium barierowości, tkanina 2 spełnia kryterium, natomiast wymaga ingerencji w strukturę w zakresie pojedynczych prześwitów, a tkanina 1 wymaga poprawy szczelności poprzez zagęszczenie struktury nitkami. Dopełnieniem informacji o zmienności struktury tkanin zaciemniających jest ocena wizualna charakterystyk widmowych w powiązaniu z odczuciem subiektywnym podczas obserwacji tkanin w świetle przechodzącym. Zaobserwowano charakterystyczne zjawisko koncentracji widm wokół wartości minimalnych dla tkaniny 2, co należy powiązać z wysokim poziomem szczelności struktury tła tkaniny. Pojedyncze piki dla wartości maksymalnych odwzorowują pojedyncze prześwity występujące w określonych odstępach w strukturze tej tkaniny. Natomiast koncentracja widm w zakresie wartości maksymalnych intensywności, obserwowana dla tkaniny 3, świadczy o braku szczelności struktury w wyniku występowania dużej liczby prześwitów.

Analiza zmienności koncentracji widm, czyli wartości rozrzutu intensywności jest niezbędnym parametrem do uzyskania pełnej charakterystyki barierowości tkanin. Proponuje się, aby opisu zmienności intensywności dokonać na podstawie procentowego rozrzutu intensywności światła względem wartości intensywności granicznej. W tym przypadku obliczono procentowy poziom rozrzutu intensywności maksymalnych, zwany wskaźnikiem koncentracji widm „C”, dla populacji 30 wyników pochodzących z liniowego śledzenia struktury na podstawie usytuowania pików maksymalnych względem ustalonej wartości granicznej. Procentowy wskaźnik koncentracji widm opisuje formuła:

$$C = 100 - \left(\frac{v}{v_c} \cdot 100 \right), \% \quad (8)$$

gdzie: v – suma wartości I spełniających warunek $I \geq I_g$, jw,

v_c – suma wszystkich wartości I , jw.

W przypadku wstępnie prowadzonej analizy, sumy intensywności światła przechodzącego zostały obliczone jako pola pod wykresami prezentowanymi na rysunku 10b. Wyniki analizy szczelności struktur tkanin zaciemniających dla światła VIS zamieszczono w tabeli 2.

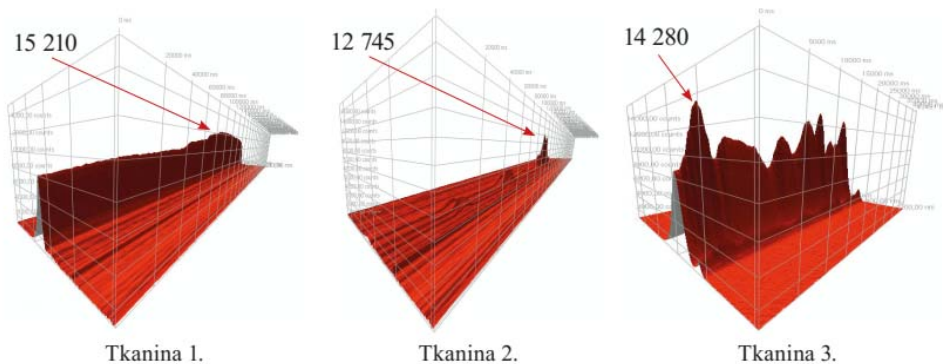
Tabela 2. Podsumowanie oceny szczelności struktury tła na podstawie wskaźnika koncentracji widm „C”, tzn. procentowego poziomu rozrzutu maksymalnych intensywności względem wartości granicznej

Parametr	Źródło światła	Tkanina 1	Tkanina 2	Tkanina 3
Czas integracji T_i , ms	4	3 000	4 000	250
Współczynnik korygujący „a”	1000	1,(3)	1	16
Wartość intensywności granicznej I_g , jw	–	6000	8000	500
Suma wszystkich punktów pomiarowych	–	30	30	30
$V_c(\Sigma I$ dla 380-780 nm), jw	–	148 496 708	51 760 624	292 616 064
$V(\Sigma I$, takich że $I \geq I_g$), jw	–	17 658 060	1 822 697	188 461 555
Współczynnik koncentracji „C”, %	–	88,11	96,48	35,59

Wprowadzone kryterium uzupełniające zaostroża warunki dopuszczające tkaniny do kategorii tkanin zaciemniających. Należy wyraźnie powiedzieć, że prześwity są niedopuszczalne w konstrukcjach tkanin barierowych, struktura tkanin powinna bowiem odznaczać się jednorodnością i szczelnością. Według powyższej oceny barierowości struktur tkanin dla światła VIS tkanina 1 i tkanina 2 spełniają warunek rozrzutu intensywności światła przechodzącego wyrażonego przez współczynnik koncentracji „C”. Uzyskane wartości współczynnika „C” potwierdziły jakość struktur tkanin. Dla tkaniny 3 wszystkie wartości intensywności maksymalnej światła przechodzącego przekraczały dopuszczalny próg barierowości, stąd współczynnik „C” na poziomie 35% charakteryzuje strukturę niejednorodną tkanin. Poziom współczynnika „C” dla tkaniny 1 wynoszący 88% świadczy o równomierności struktury, lecz niewystarczającej szczelności. Tkanina 2 skutecznie zaciemniająca osiągnęła poziom ponad 96% współczynnika „C”. Należy przyjąć, że powyżej tego poziomu tkaniny zaciemniające posiadają odpowiednią budowę strukturalną, tworzącą barierę dla światła VIS.

Podsumowując analizę fotometryczną tkanin należy stwierdzić, że zastosowana prezentacja wyników nie jest właściwa, gdyż nie odzwierciedla rzeczywistego rozkładu zmienności intensywności w czasie. W oparciu o charakterystykę spektralną prezentowaną na rysunku 10b, która nie ujawnia kolejności występowania po sobie zmian struktury tkaniny w jednostce czasu, nie można zlokalizować precyzyjnie miejsca pomiarowego na tkaninie, co ogranicza informacje o rozkładzie wady w strukturze tkaniny. Ponadto, aby uzyskać wiarygodne wyniki wskaźników barierowości, niezbędne jest zwiększenie ilości pomiarów intensywności światła przechodzącego. Analizę intensywności światła przechodzącego przez tkaniny zaciemniające powtórzono. Prezentacje wyników realizowano przy użyciu

narzędzia programu Spectra Suite – 3D Data Viewer. Funkcja ta pozwala na rejestrowanie zapisu ciągłego charakterystyk spektralnych 3D w danym przedziale czasowym na określonym odcinku struktury. Wykresy prezentowane na rysunku 11 przedstawiają intensywności światła przechodzącego (I) w funkcji długości fali (λ) oraz drogi (s). Pomiar intensywności światła realizowano na odcinku struktury o długości 12 mm; miejsca analizy zaznaczono na rysunku 8, graficzną prezentację wyników zawiera rysunek 11.



Rys. 11. Analiza 3D intensywności światła przechodzącego (I) w funkcji długości fali (λ) dla czasów integracji indywidualnie dostosowanych dla każdej próbki, odpowiednio: 3000 ms; 4000 ms; 250 ms

Poniżej w tabeli 3 zaprezentowano wyniki analizy 3D tkanin zaciemniających.–

Tabela 3. Podsumowanie analizy oceny właściwości fotometrycznych tkanin zgodnie z założeniami własnej metodyki oceny – liniowego śledzenia struktury

Parametr	Źródło światła	Tkanina 1	Tkanina 2	Tkanina 3
Czas integracji T_i , ms	4	3 000	4 000	250
Współczynnik korygujący „a”	1000	1,(3)	1	16
Wartość intensywności maksymalnej z pomiaru I_0 , jw	14 781	15 210	12 745	14 280
Intensywność maksymalna skorygowana I , jw	14 781 000	20 280	12 745	228 480
P_i , %	–	0,137	0,086	1,546
$Z_{tk,i}$, %	–	99,863	99,914	98,454

Σ wszystkich punktów pomiarowych	–	154 525	154 525	154 525
ΣI_0 , dla 380-780 nm, jw	3 477 674	446 621 163	204 774 376	326 717 742
$V_c(\Sigma I$ dla 380-780 nm) jw	608 592 950 000	595 494 884	204 774 376	5 227 483 872
P_n , %	–	0,098	0,034	0,859
$Z_{tk,n}$, %	–	99,902	99,966	99,141
Wartość intensywności granicznej I_g , jw	–	6 000	8 000	500
$V(\Sigma I$ takich, że $I \geq I_g$), jw		306 263 138	3 740 131	5 227 483 872
Skorygowany współczynnik koncentracji „C”, %	–	48,57	98,17	0

Należy zauważyć, że wyniki uzyskane na podstawie analizy (w której powiększono liczbę pomiarów z 30 do 175) są bardziej zbliżone do obserwowanej ilości światła i sposobów jego przechodzenia przez badane tkaniny. Wartości wskaźników barierowości P i Z_{tk} , obliczonych na podstawie maksymalnej intensywności światła (P_i i $Z_{tk,i}$) oraz na podstawie zsumowanych wartości intensywności światła (P_n i $Z_{tk,n}$), potwierdzają różnice w szczelności badanych tkanin. Według danych pochodzących z analizy 3D, tkanina 2 prezentuje najwyższy poziom właściwości barierowych, tkanina 1 posiada te właściwości gorsze o blisko 50%, natomiast tkanina 3 przepuszcza prawie osiemnastokrotnie więcej światła niż tkanina 2. Na uwagę zasługuje analiza wyników współczynnika koncentracji „C”, która utwierdza w przekonaniu, że jest to niezbędny parametr zaostrzający kryterium jakości dla tkanin zaciemniających o strukturalnej barierowości. Poziom tego wskaźnika odzwierciedla różnice szczelności i równomierności struktur tkanych, czyli ich zdolności do zaciemniania, w sposób dokładny. Na podstawie uzyskanych poziomów wskaźnika „C” można wnioskować, że tkanina 3 nie spełnia kryterium barierowości, wyrażonego współczynnikiem równomierności struktury ($C = 0\%$), tkanina 1 spełnia go w sposób niewystarczający ($C = 48,57\%$), a tkaninę 2, dla której współczynnik „C” wyniósł 98,17%, należy uznać za tkaninę zaciemniającą referencyjną.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Nowa metoda opisu zjawiska barierowości świetlnej tkanin zaciemniających polega na: a) pomiarze intensywności światła przechodzącego na określonym odcinku struktury tkaniny, b) opisie zjawiska barierowości świetlnej takimi parametrami jak przepuszczalność i zdolność do zaciemniania, c) ocenie procentowego dopuszczalnego rozkładu intensywności maksymalnych, wyrażonego wskaźnikiem koncentracji widm „C”. Wstępna analiza prowadzona była w oparciu

o analizę trzydziestu charakterystyk widmowych intensywności światła przechodzącego przez tkaniny. Odniesienie stanowiła intensywność źródła światła będąca referencyjnym pomiarem wykonanym na początku badań fotometrycznych. Znając natężenie źródła światła, można w sposób ilościowy określić procentowy poziom zaciemnienia tkanin, jak również ich poziom przepuszczalności.

Wykazano, że na podstawie informacji o wartości natężenia z prześwitów i charakterystycznej intensywności z tła (konstrukcji tkaniny szczelnej dla światła i jednorodnej strukturalnie) można opisać zmienność struktury tkaniny, czyli zmienność właściwości barierowych. W kolejnym etapie pracy określono dopuszczalny względny próg natężenia „ I_g ” dla tkanin blackout. W oparciu o dwa parametry: intensywność światła z prześwitów i rozrzut zmienności intensywności w badanym przedziale względem intensywności granicznej (I_g) tkaninę 2 uznano za referencyjną. Przepuszczalność tkanin, na analizowanym odcinku struktury, kształtowała się od 0,012% (tkanina 2) do 1,081% (tkanina 3). Dodatkowo analiza maksymalnych intensywności z prześwitów (I), skorygowana o współczynnik „ a ”, pozwala stwierdzić, że tkanina 2, wytworzona w technologii tkanin podwójnych, ma blisko osiemnastokrotnie (17,93) niższą wartość intensywności światła przechodzącego niż tkanina 3 o konstrukcji pojedynczej. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu ustalono wartości referencyjne intensywności na poziomie wyników uzyskanych dla tkaniny 2. Wskaźniki barierowości dla tkaniny 2, takie jak: P_i oraz $Z_{tk,i}$ wynosiły odpowiednio 0,086% i 99,914%. Natomiast wskaźniki barierowości obliczone na podstawie sum wartości intensywności (P_n i $Z_{tk,n}$) wykazały, że między tkaniną 1 a tkaniną 2 istnieją większe różnice niż podczas komputerowej analizy obrazu czy oceny subiektywnej. Aby ostatecznie wyselekcjonować tkaninę referencyjną wprowadzono dodatkowy wskaźnik barierowości zdefiniowany jako wskaźnik koncentracji widm „ C ”. Taki procentowy rozrzut wartości intensywności promieniowania w przedziale ograniczonym progiem barierowości względnej ($0-I_g$) wyniósł ponad 96% dla tkaniny 2, zwanej referencyjną. Pozostałe tkaniny uzyskały gorsze wyniki: tkanina 1 osiągnęła 88%, a tkanina 3 tylko 35%. Nie spełniała ona tym samym postawionego kryterium oceny szczelności struktury, ponieważ wszystkie z 30 analizowanych charakterystyk intensywności światła przechodzącego przekraczały ustalony próg barierowości. Stąd też wnioskuje się, że na powyższy wynik miała wpływ, ograniczona do 30, liczba pomiarów, co sprawia, że dokładność odwzorowania struktury jest niewystarczająca. Zatem, aby wynik można uznać za wiarygodny, należy zwiększyć liczbę pomiarów intensywności na badanym odcinku struktury tkaniny. Tkanina 1 w odczuciu subiektywnym posiada dość dobre właściwości zaciemniające, jednak z uwagi na niepełną informację, wynikającą ze zbyt małej liczby punktów pomiarowych, została zakwalifikowana do tkanin o niższej jakości zaciemniającej.

Docelowa analiza tkanin zaciemniających realizowana była przy pomocy programu do tworzenia wykresów 3D, a zapis ciągły umożliwił uzyskanie danych ze 175 pomiarów. Zgodnie z wniesionymi poprawkami tkanina 1 osiągnęła blisko

pięćdziesięcioprocentowy poziom wskaźnika „C” (48,57); tkanina 2 ponad 98%, a tkanina 3 nie może być zakwalifikowana do kategorii tkanin zaciemniających ($C = 0\%$). Uzyskane wyniki, w porównaniu z wstępną procedurą, są bliższe rzeczywistemu zróżnicowaniu struktur w zakresie szczelności optycznej dla światła VIS. W części przygotowawczej do wykonania badań, podczas obserwacji struktur w warunkach pomiaru (patrz rysunek 106), różnice w strukturach tkanin, a co za tym idzie we właściwościach zaciemniających, były wyraźne. Przeprowadzona analiza przedstawiona w tabelach 1, 2, szczególnie w tabeli 3, potwierdza postawioną hipotezę o różnych poziomach właściwości barierowych badanych tkanin zaciemniających. Dla tkanin odnotowano różnice w wyznaczonych wskaźnikach P i Z_{tk} oraz znaczące różnice w wartościach współczynnika „C”, rozumianego jako wskaźnik równomierności i szczelności struktury tkaniny. Można zatem przyjąć, że wrażliwość metody jest na oczekiwanym poziomie.

Prezentowane prace doświadczalne pozwoliły stwierdzić, że istnieje konieczność prowadzenia analiz intensywności światła przechodzącego na podstawie wyników pochodzących z zapisu ciągłego 3D, a interpretacji należy poddawać wyniki zsumowanych intensywności światła w zakresie VIS. Wskaźniki barierowości i współczynnik koncentracji widm „C”, obliczone na podstawie danych 3D, w pełni odwzorowują odczucia odbiorcy w kwestii jakości struktur zaciemniających. Prezentacja wyników intensywności w przestrzeni trójwymiarowej, zdefiniowanej poprzez długość fali, czas i drogę (λ , T , s) z oznaczonym progiem barierowości, może stanowić dla producentów oraz użytkowników podstawę oceny tkanin.

Podsumowując, autorska metodyka oceny zjawiska barierowości tkanin zasłanowych potwierdziła różnice w zdolności do zaciemniania badanych tkanin. Dzięki tej metodzie osiągnięto pożądaną wrażliwość pomiarową, która wykrywa pojedyncze prześwity i każdą zmianę budowy strukturalnej tkanin. Wykazano, że wyznaczone wskaźniki barierowości opisują zmienność struktury na zdefiniowanej powierzchni tkaniny w sposób ilościowy, zatem obiektywny.

Literatura

- [1] PN-EN 14501:2005, *Zasłony i żaluzje – Komfort cieplny i wizualny – Właściwości eksploatacyjne i klasyfikacja*.
- [2] PN-EN 12216:2004, *Żaluzje, zasłony zewnętrzne, zasłony wewnętrzne – Terminologia, słownik i definicje*.
- [3] **Lesińska L.:** *Hotel ubrany w tkaninę*, Hotelarz 2011, nr 7, <http://www.e-hotelarz.pl/htdocs/e-hotelarz.pl/mht/?s=Hotel+ubrany+w+tkanin%C4%99>, dostęp: 20.08.2019.
- [4] **Cieślak T., Zawadzki A.:** *Postęp w technologii powlekania wyrobów włókienniczych, XXV Seminarium Polskich Kolorystów, technologie wykończeniowe bezpieczne dla środowiska i zdrowia człowieka*, 2009, ISBN 978-83-927176-1-4, ss. 88-101, http://www.kolorysty.org.pl/download/mat-sem/kolorysty_2009.pdf, dostęp: 20.08.2019.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Rockland_Industries, dostęp: 20.08.2019.

- [6] http://www.roc-lon.com/company/add_performance.html#q1, dostęp: 20.08.2019.
- [7] **Szosland J.:** *Struktury tkaninowe*, ISBN 83-86492-42-2, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Łódź 2007.
- [8] **Nycz E. i in.:** *Budowa tkanin*, ISBN 83-02-03229-8, WSIP, Warszawa 1999.
- [9] Materiały informacyjne firmy Hallmark Blinds, <http://www.hallmarkblinds.co.uk/saveenergy>, dostęp: 20.08.2019.
- [10] PN EN 13120:2005.
- [11] <http://www.wygasz.edu.pl/index.php/jak-zmierzyc-swiatlo.html>, dostęp: 20.08.2019.
- [12] <http://pollighting.pl/optical-safety-polv31052011>, dostęp: 20.08.2019.
- [13] PN-EN 14500:2008, *Żaluzje i zasłony – komfort cieplny i wizualny – Metody badań i obliczeń*.
- [14] AS/NZS 4399:1996, *Sun protective clothing — Evaluation and classification*.
- [15] AS/NZS 2604:1986, *Sunscreen products — Evaluation and classification*.
- [16] PN-EN 13758-1:2007, *Tekstylija – Właściwości ochronne przed działaniem promieniowania UV – Część 1: Metoda badania płaskich wyrobów włókienniczych*.
- [17] Procedura badawcza PR/17/2007, *Płaskie wyroby włókiennicze. Badanie Transmisji światła w zakresie od 400 nm do 700 nm*, zgodna z normą PN-EN 13758-1:2007, Laboratorium badań chemicznych i analiz instrumentalnych, Instytut Włókiennictwa, 2008.
- [18] AATCC TM 148-2015, *Light Blocking Effect of Textiles and Related Materials: Photodetector Method*.
- [19] AATCC TM 203-2014, *Light Blocking Effect of Textiles: Spectrophotometric Method*.
- [20] AATCC TM 183:2004, *Transmittance or Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation through Fabrics*.
- [21] AS 4174:1994, *Synthetic shade cloth. Requirements for shade cloth*.
- [22] **Javorniczky J.:** *Review of the Synthetic Shadecloth Standard AS 4174:1994*, 3rd International Conference on UV & Skin Cancer Prevention, Melbourne Australia 7-11 December 2015, http://uvandskincancer2015.org/cms/wp-content/uploads/2016/02/Javorniczky_John_Review-of-the-synthetic-shadecloth.pdf, dostęp: 20.08.2019.
- [23] **Bilimis Zafira:** *Measuring the cover and shade protection factors of synthetic shadecloth*, Application Note, Publication Number SI-A-1149, 2011, <https://www.agilent.com/cs/library/applications/uv68.pdf>, dostęp: 20.08.2019.
- [24] **Tapias Montserrat, Ralló Miquel, Jaume Escofet Soteras, Inés Maria Algaba Joaquín, Ascensión Riva Juan:** *Objective Measure of Woven Fabric's Cover Factor by Image Processing*, Textile Research Journal 2010, nr 80(1), DOI: 10.1177/0040517509104471.
- [25] **Parmar M.S., Singh Maheshwar:** *Development an Instrument to Determine Light and Heat Cutting Ability of Textiles*, ISSN 0010-1826, Colourage 2013, Vol. 60, Issue 7, ss. 39-41.
- [26] **Parmar M.S.:** *Indian Pat*, Patent Application No 180/Del/2012, 20.01.2012.
- [27] **Parmar M.S.:** *Sisodia Nidhi, Singh Maheshwar, An apparatus for quantification of Light and temperature cutting ability of curtains*, Indian Journal of Fibre & Textile Research 2015, Vol. 40, ss. 231-235.

- [28] **Lewartowska J., Bąk P., Marzec S.:** *Propozycja kryteriów oceny właściwości użytkowych wyrobów włókienniczych chroniących przed nadfioletem*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2008, z. 237, lewartowska13.pdf, dostęp: 20.08.2019.
- [29] **Hemka L., Piotrowski L., Lewartowska J., Lota W.:** *Opracowanie metodyki badań oraz kryteriów oceny właściwości barierowych dla UV materiałów wyposażenia wnętrz i do budownictwa*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2010, z. 245, ss. 301-315.
- [30] **Stempień Z., Dominiak J., Sulerzycka-Bil M.:** *Protection Properties of Woven Fabrics. Against High-intensity UV Radiation Emitted by Artificial Sources*, Fibres&Textiles In Ekstern Europe 2013, nr 21, 2 (98), ss. 96-102.
- [31] **Szmyt J., Mikołajczyk Z.:** *Experimental Identification of Light Barrier Properties Of Decorative Jacquard Knitted Fabrics*, Fibres & Textiles In Eastern Europe 2013, nr 21, 2(98), ss. 104-110.
- [32] **Ahsan Nazir, Tanveer Hussain, Ali Afzal, Sajid Faheem, Waseem Ibrahim, Muhammad Bilal:** *Prediction and Corelation of Air Permeability and Light Transmission Properties of Woven Cotton Fabrics*, Autex Research Journal, https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Prediction+and+correlation+of+air+permeability+and+light+transmission+properties+of+woven+cotton+fabrics&author=A.+Nazir&author=T.+Hussain&author=A.+Afzal&author=S.+Faheem&author=W.+Ibrahim&author=M.+Bilal &publication_year=2016, dostęp: 20.06.2017.
- [33] **Manoj Kumar Imrith, Roshan Unmar, Satyadev Rosunee:** *Investigating the Relationship between Knitted Fabric Porosity and Light Permeability*, Indian Journal of Materiale Science 2016, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7536108>, dostęp: 20.08.2019.
- [34] Informacje normalizacyjne PKN, <https://www.pkn.pl/polskie-normy/wykazy-pn>, Dostęp: 04.10.2017.
- [35] Katalog oświetlenia LED marki ART., <http://www.art-multimedia.pl>, <http://pliki.mo.pl/files/public/exchange/EXCHANGE/ART-multimedia%20-%20Katalogi/2015-10-15%20Katalog%20LED.pdf>, dostęp: 20.08.2019.
- [36] Materiały informacyjne firmy Ocean Optics, <https://oceanoptics.com/product-category/hr-series/https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/hr4000cg-uv-nir-150x150.jpg>, 2007_catalog.pdf, dostęp: 20.08.2019.
- [37] <http://oceanoptics.com/wp-content/uploads/SpectraSuite.pdf>

DESIGN, TECHNOLOGY AND EVALUATION METHODOLOGY OF MULTIFUNCTIONAL JACQUARD BLACKOUT FABRIC FOR PUBLIC INTERIORS APPLICATIONS

Summary

The following dissertation is based on the author's over ten years of professional experience. The author's area of interests and activities coincide with the scientific area of the work environment.

The nature of the dissertation qualifies it for the application category. The result of technological work is an innovative construction of curtain fabric with barrier properties for visible light (VIS). There is a demand for the expected research result in a well-defined area of interior furnishing of public utilities in the hotel sector and business zone (HoReCa and MICE). The work includes pioneering research on the possibility of multiplication of functions in multilayer fabrics, with their simultaneous separation and assignment to each of layers. On the other hand, a huge scientific contribution of the work is a new objective method of assessing the new generation of blackout fabrics with barrier properties resulting from the special fabric structure.

The subject of this publication is the methodology for assessing the barrier properties of blackout fabrics developed for the purpose of assessing the new construction of curtain fabric and its subsequent classification.

The authorial methodology for assessing the barrier phenomenon of curtain fabrics was developed using a designed test stand for linear tracking of the fabric structure.

The study confirmed that due to this method, the desired measurement sensitivity was achieved, which detects individual lumens and each change in the structural structure of fabrics. It has been shown that the determined barrier indicators Transmittance (P_n) and Blackout Capability ($Z_{tk, n}$) calculated on the basis of the sums of intensity values describe the variability of the structure on the defined surface of the fabric in a quantitative and therefore objective way.

Both the test stand and the developed methodology of evaluating the darkening capabilities of blackout fabrics have been adapted for further implementation in industrial applications.