

Agnieszka WOLSKA

OCENA BARIEROWOŚCI MATERIAŁÓW WŁÓKIENNICZYCH PRZED UV UWZGLĘDNIAJĄCA RÓŻNE KRZYWE SKUTECZNOŚCI BIOLOGICZNEJ

STRESZCZENIE *W artykule przedstawiono propozycje czterech nowych współczynników barierowości materiałów włókienniczych przed UV, które uwzględniają skuteczność aktywną, erytemalną, kancerogenną i uszkodzenia DNA. Na podstawie wyników badań 19 próbek różnych materiałów włókienniczych naświetlanych dwoma różnymi źródłami UV (lampą halogenową i deuterową) określono kryteria oceny barierowości materiałów włókienniczych przed sztucznym promieniowaniem UV. Przyjęto, że przy ocenie barierowości przed sztucznym UV najbardziej odpowiednim jest współczynnik AUPF. Jednak ze względu na duże zróżnicowanie wartości liczbowych AUPF, które mogą wskazywać na dobrą barierowość przy naświetlaniu różnymi źródłami promieniowania UV, proponuje się wyznaczać jego wartości graniczne indywidualnie dla każdej grupy promienników o określonej charakterystyce widmowej.*

Słowa kluczowe: *promieniowanie UV, materiały włókiennicze, współczynniki barierowości przed UV, skuteczności oddziaływania biologicznego UV*

dr inż. Agnieszka WOLSKA

email: agwol@ciop.pl

Zakład Techniki Bezpieczeństwa
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 256, 2012

1. WSTĘP

W przypadku, gdy na stanowiskach pracy występują przekroczenia wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) dla nielaserowego promieniowania optycznego, stwierdza się duże ryzyko zawodowe ze względu na poziom ekspozycji i pracodawca jest zobowiązany do podjęcia natychmiastowych działań ograniczających to ryzyko do małego. Jeśli nie jest to możliwe poprzez zastosowanie środków technicznych lub organizacyjnych, wówczas konieczne jest wyposażenie pracowników w odpowiednie środki ochrony indywidualnej oczu (okulary, gogle ochronne) lub skóry (odzież ochronna i rękawice, wykonane z odpowiednich materiałów barierowych).

W celu ograniczenia poziomu ekspozycji oczu lub skóry należy stosować środki ochrony indywidualnej odbijające lub pochłaniające promieniowanie padające na ochronę tak, aby promieniowanie docierające do ekspozowanej tkanki było odpowiednio ograniczone. Zatem każdy środek ochrony indywidualnej powinien charakteryzować się odpowiednim wskaźnikiem barierowości. W przypadku filtrów optycznych stosowanych w środkach ochrony oczu przed nadfioletem ustalone są progi transmisji tego promieniowania dla określonych źródeł promieniowania (promieniowanie słoneczne, różne rodzaje promienników UV, spawanie elektryczne i gazowe), a odpowiednie normy techniczne określają sposób wyznaczania stopnia ich tłumienia oraz zalecenia doboru optycznego filtra ochronnego.

Nieco inaczej przedstawia się sytuacja z określeniem stopnia ochrony przed promieniowaniem UV materiałów włókienniczych stosowanych do wyrobu odzieży roboczej lub ochronnej. Do tej pory oceniano stopień ochrony materiałów włókienniczych jedynie przed naturalnym promieniowaniem UV występującym w promieniowaniu słonecznym. Do oceny stopnia ochrony materiałów włókienniczych przed tym promieniowaniem służy współczynnik *UPF* (ang. *Ultraviolet Protective Factor*), wyznaczany zgodnie z normą PN-EN 13758-1 [7], który odnosi się do krzywej skuteczności erytemalnej promieniowania UV z zakresu 290 ÷ 400 nm i wyrażany jest wzorem:

$$UPF = \frac{\int_{290nm}^{400nm} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{290nm}^{400nm} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

gdzie:

- $\varepsilon(\lambda)$ – względna skuteczność widmowa wywoływania rumienia skóry (erytemy) przez promieniowanie UV;
- $\tau(\lambda)$ – transmisja widmowa promieniowania przez tkaninę;
- $E(\lambda)$ – widmo promieniowania imitującego promieniowanie słoneczne (iluminant światła dziennego).

Taka definicja współczynnika *UPF* uwzględnia zarówno efekt biologiczny, jakim jest powstanie rumienia, jak również rozkład widmowy promieniowania słonecznego. Jednak współczynnik *UPF* nie obejmuje swym zakresem całego widma UV, tj. z przedziału od 200-290 nm, a w tym zakresie mogą emitować sztuczne promienniki UV. Poza tym ocenę zagrożenia skóry sztucznym promieniowaniem UV dokonuje się przy uwzględnieniu skuteczności aktywności oddziaływania nadfioletu z zakresu 180 ÷ 400 nm. Wobec powyższego, współczynnik *UPF* nie może mieć zastosowania do oceny barierowości materiałów włókienniczych stosowanych do ochrony przed sztucznym promieniowaniem UV, zwłaszcza, gdy zakres emisji źródła obejmuje promieniowanie UV poniżej 290 nm.

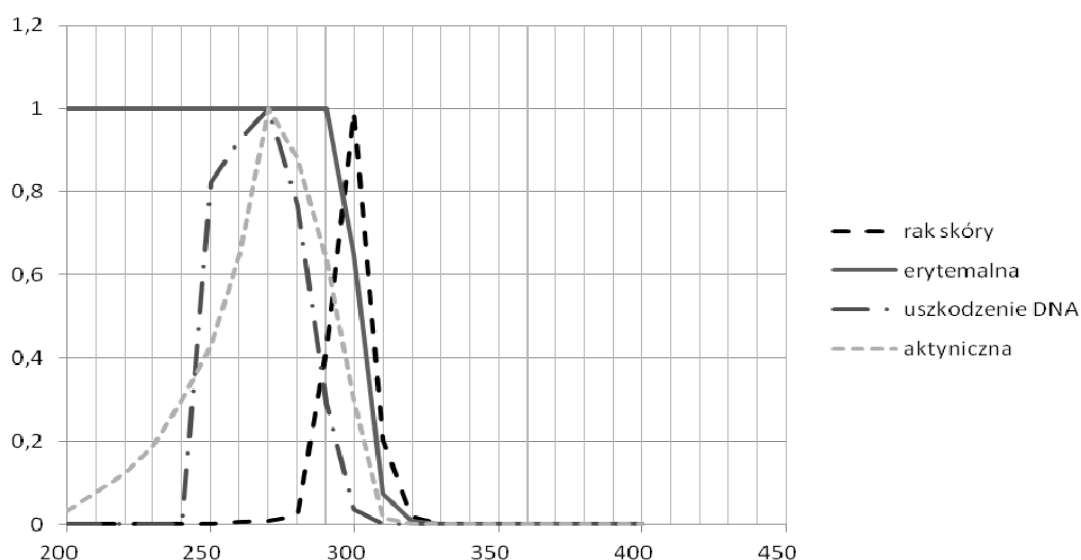
Celem artykułu jest przedstawienie propozycji nowych współczynników barierowości dla poszczególnych skuteczności biologicznych oddziaływania nadfioletu na skórę człowieka oraz wyników przeprowadzonych badań barierowości różnych materiałów włókienniczych przed sztucznym promieniowaniem UV.

2. WZGLĘDNE SKUTECZNOŚCI ODDZIAŁYWANIA PROMIENIOWANIA UV NA SKÓRĘ

Najczęściej spotykanym i badanym objawem ekspozycji skóry na nadfiolet jest jej rumień, czyli erytema. Stopień zaczerwienienia i jego przebieg zależą od wielkości napromienienia i długości fali promieniowania. Skuteczność w wywoływaniu erytemy przez poszczególne długości fali promieniowania nadfioletowego była szeroko badana na świecie i Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy (CIE) opublikował znormalizowaną krzywą względnej skuteczności wywołania rumienia skóry (tzw. skuteczność erytemalna) [1]. Ta krzywa skuteczności uwzględniana jest przy wyznaczaniu indeksu UV oraz przy ocenie wskaźnika *UPF* dla materiałów włókienniczych chroniących przed naturalnym promieniowaniem UV. Oprócz tej krzywej opracowanych zostało jeszcze wiele innych względnych skuteczności widmowych w wywoływaniu określonych skutków biologicznych, wśród których można wymienić m.in:

- względną widmową skuteczność zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem UV z maksimum dla $\lambda = 270$ nm (inaczej zwana skutecznością aktywną, która uwzględnia skuteczność wywoływania rumienia i raka skóry oraz zapalenia spojówki i rogówki) [3, 5, 7, 11]; przy uwzględnieniu tej krzywej skuteczności wyznaczane są parametry do oceny zagrożenia oczu i skóry sztucznym (nielaserowym) promieniowaniem nadfioletowym na stanowiskach pracy;
- względną widmową skuteczność wywołania nieczerniakowego raka skóry promieniowaniem UV z maksimum dla $\lambda = 300$ nm (inaczej zwana skutecznością kancerogenną lub SCUP-H [2];
- względną widmową skuteczność uszkodzenia DNA promieniowaniem UV z maksimum dla $\lambda = 270$ nm [2].

Przebiegi zmienności ww. krzywych skuteczności biologicznej nadfioletu w wywoływaniu skutków szkodliwych w odniesieniu do skóry przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Względne skuteczności widmowe oddziaływania nadfioletu na skórę

3. WSKAŹNIKI BARIEROWOŚCI UWZGLĘDNIAJĄCE RÓŻNE KRZYWE SKUTECZNOŚCI BIOLOGICZNEJ

Do oceny szkodliwego działania promieniowania nadfioletowego na skórę przyjmuje się wiele skuteczności biologicznych przedstawionych na rysunku 1

w tym krzywą skuteczności aktywności, którą stosuje się do oceny zagrożenia sztucznym promieniowaniem UV na stanowiskach pracy. Zatem proponowane do oceny barierowości tkanin nowe wskaźniki uwzględniają 4 krzywe skuteczności oddziaływania promieniowania UV na organizm człowieka:

- skuteczność erytemalna,
- skuteczność kancerogenna,
- skuteczność uszkodzenia DNA,
- skuteczność aktywności.

Proponowane wzory nowych współczynników barierowości przedstawia tabela 1.

TABELA 1

Proponowane współczynniki do oceny barierowości materiałów włókienniczych, uwzględniające różne skuteczności oddziaływania nadfioletu na skórę [13]

Wzór	Opis
$UPF(A) = \frac{\int_{200nm}^{400nm} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{200nm}^{400nm} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}$	<p><i>UPF(A)</i> – współczynnik ochrony przed działaniem erytemalnym nadfioletu (sztuczne źródła promieniowania); <i>ε(λ)</i> – względna skuteczność widmowa wywołania erytemy; <i>τ(λ)</i> – transmisja widmowa promieniowania przez materiał włókienniczy; <i>E(λ)</i> – widmo promieniowania źródła światła sztucznego</p>
$SCPF = \frac{\int_{270}^{370} E(\lambda) \cdot SC(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{270}^{370} E(\lambda) \cdot SC(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}$	<p><i>SCPF</i> – współczynnik ochrony przed rakiem skóry; <i>SC(λ)</i> – względna skuteczność widmowa wywołania raka skóry; <i>E(λ)</i> – widmo promieniowania źródła światła sztucznego</p>
$DDPF = \frac{\int_{250}^{365} E(\lambda) \cdot DD(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{250}^{365} E(\lambda) \cdot DD(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}$	<p><i>DDFP</i> – współczynnik ochrony przed uszkodzeniem DNA; <i>DD(λ)</i> – względna skuteczność widmowa uszkodzenia DNA; <i>E(λ)</i> – widmo promieniowania źródła światła sztucznego</p>
$AUPF = \frac{\int_{180}^{400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{180}^{400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}$	<p><i>AUPF</i> – współczynnik ochrony przed nadfioletem aktywnym; <i>S(λ)</i> – względna skuteczność widmowa szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę, zgodnie z [3, 12]; <i>E(λ)</i> – widmo promieniowania źródła światła sztucznego.</p>

W celu sprawdzenia jakie są wartości liczbowe współczynników barierowości przedstawionych w tabeli 1 wykonano badania barierowości dla

różnych materiałów włókienniczych przed promieniowaniem UV emitowanym przez lampę halogenową i deuterową.

4. BADANIA BARIEROWOŚCI WYBRANYCH MATERIAŁÓW WŁÓKIENNICZYCH

4.1. Charakterystyka badanych materiałów

TABELA 2

Charakterystyka próbek materiałów włókienniczych [13]

Nr próbki	Nazwa próbki	Wstępne przygotowanie próbek	Masa powierzchniowa [g/m ²]	Grubość [mm]
1	Tkanina 100% CO, biała (bawełna medical)	nowa	180 g/m ²	0,56
2	Dzianina 100% CO (bawełna IW biała)	nowa	220 g/m ²	0,27
3	Tkanina 80% PES, 20%CO w kolorze fluorescencyjnym żółtym (RE1)	nowa	285 g/m ²	0,51
4		warunki środowiskowe 1200 h		
5		warunki środowiskowe 2400 h		
6	Tkanina 80% PES, 20%CO w kolorze fluorescencyjnym pomarańczowym (RE2)	nowa	285 g/m ²	0,52
7		warunki środowiskowe 1200 h		
8		warunki środowiskowe 2400 h		
9	Dzianina granatowa (PES/CV) w splocie piki	nowa	254 g/m ²	1,00
10	Dzianina biała 100 % CO w splocie interlokowym	nowa	140 g/m ²	1,03
11	Tkanina koszulowa 18%CV, 81%PES, 1%CF	nowa	114 g/m ²	0,31
12		150 h Xenotest		
13	Tkanina koszulowa 80% CO, 20% PES	nowa	148 g/m ²	0,43
14		po 5 praniach		
15	Tkanina koszulowa 28,3% CO, 71,5 %PES, 02 %CF	po 5 praniach	139 g/m ²	0,50
16	Dzianina granatowa 100 % PES	nowa	160 g/m ²	0,90
17		po 5 praniach		
18		150 h Xenotest		
19	Dzianina 100% PES, w kolorze fluorescencyjnym żółtym	nowa	140 g/m ²	0,40

Właściwości barierowe materiałów przeznaczonych na środki ochrony indywidualnej ulegają zmianom podczas użytkowania. Związane jest to z poddawaniem materiałów takim działaniom, jak: pranie, oddziaływanie mechaniczne polegające na wielokrotnym zginaniu i ścieraniu oraz ekspozycja na promieniowanie nadfioletowe, które wpływa na zmiany wielu parametrów materiałów tekstylnych. Stąd w badaniach brane były pod uwagę próbki materiałów nowych, a także kondycjonowanych w różny sposób. Próbki były poddane naturalnym warunkom środowiskowym, tj. działaniu promieniowania słonecznego i opadów atmosferycznych w wymiarze 1200 h lub 2400 h, a także poddane naświetlaniu w Xenoteście (symulacja promieniowania słonecznego) przez 150 h oraz po 5 praniach [12]. Kondycjonowanie próbek materiałów wykonywano zgodnie z normami technicznymi stosowanymi do badań materiałów włókienniczych [8, 9, 10].

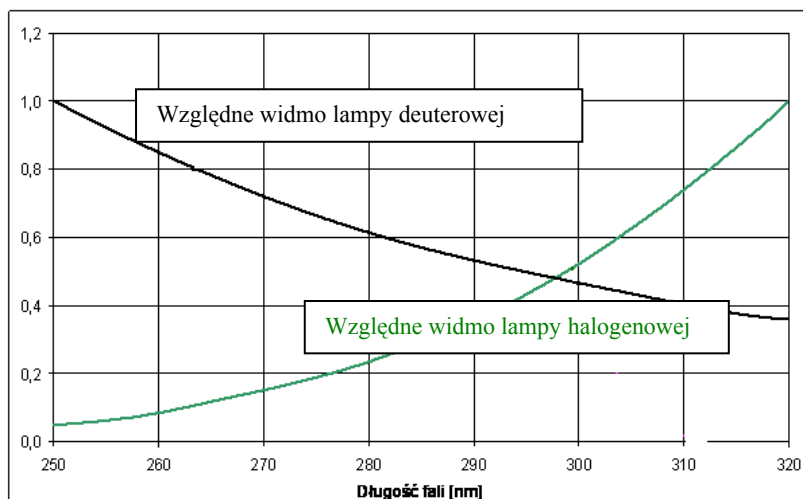
Oznaczenie oraz charakterystykę poszczególnych próbek materiałów włókienniczych przedstawiono w tabeli 2.

4.2. Metoda badań

Badania współczynników barierowości próbek materiałów włókienniczych zestawionych w tabeli 1 przeprowadzono z wykorzystaniem systemu spektrometrycznego Optronic Laboratories OL 750 z podwójnym monochromatorem. Ze względu na dobrą korekcję przestrzenną dla całego kąтового pola widzenia, jako optyczny układ wejściowy zastosowano kulę całkującą typu OL IS-670 (Optronic Laboratories) o średnicy 152,4 mm oraz średnicy żrenicy wejściowej (przysłony aperturowej) 31,74 mm. Mierzone promieniowanie było rozszczepiane przez siatki dyfrakcyjne 600 linii/mm i 300 linii/mm. Jako odbiornik stosowano wysokiej czułości detektor krzemowy typu OL 750–HSD–300 (Optronic Laboratories). W badaniach wykorzystano dwa wzorce promieniowania UV: lampę deuterową OL UV-40 i lampę halogenową OL 200 IR. Względne widma obu tych lamp przedstawiono na rysunku 2.

Wszystkie próbki materiałów włókienniczych umieszczane były kolejno na otworze wejściowym do kuli całkującej, tak, aby całkowicie zakryć jej otwór. Odległość pomiaru (źródło – otwór wejściowy kuli całkującej) wynikała z granicznej odległości fotometrowania i przy lampie halogenowej wynosiła 50 cm, a przy deuterowej 30 cm. Wykonywano pomiary rozkładu widmowego natężenia napromienienia źródła wzorcowego, a następnie promieniowania źródła przepuszczanego przez próbkę. Otrzymane z pomiarów rozkłady widmowe promieniowania nadfioletowego przechodzące przez poszczególne próbki materiałów były następnie odpowiednio ważone przez krzywe skuteczności

biologicznej i na tej podstawie wyznaczane były poszczególne współczynniki barierowości zgodnie ze wzorami przedstawionymi w tabeli 1.



Rys. 2. Względne rozkłady widmowe lampy halogenowej i deuterowej

5. WYNIKI BADAŃ BARIEROWOŚCI PRZED SZTUCZNYM UV

5.1. Widmowa transmisja promieniowania

Otrzymane z pomiarów rozkłady widmowe promieniowania nadfioletowego przechodzące przez poszczególne próbki materiałów były wykorzystane do wyznaczania widmowej transmisji widmowej materiałów wg wzoru:

$$\tau(\lambda) = \frac{E_{za-tkanina}(\lambda)}{E_{źródła}(\lambda)} \quad (2)$$

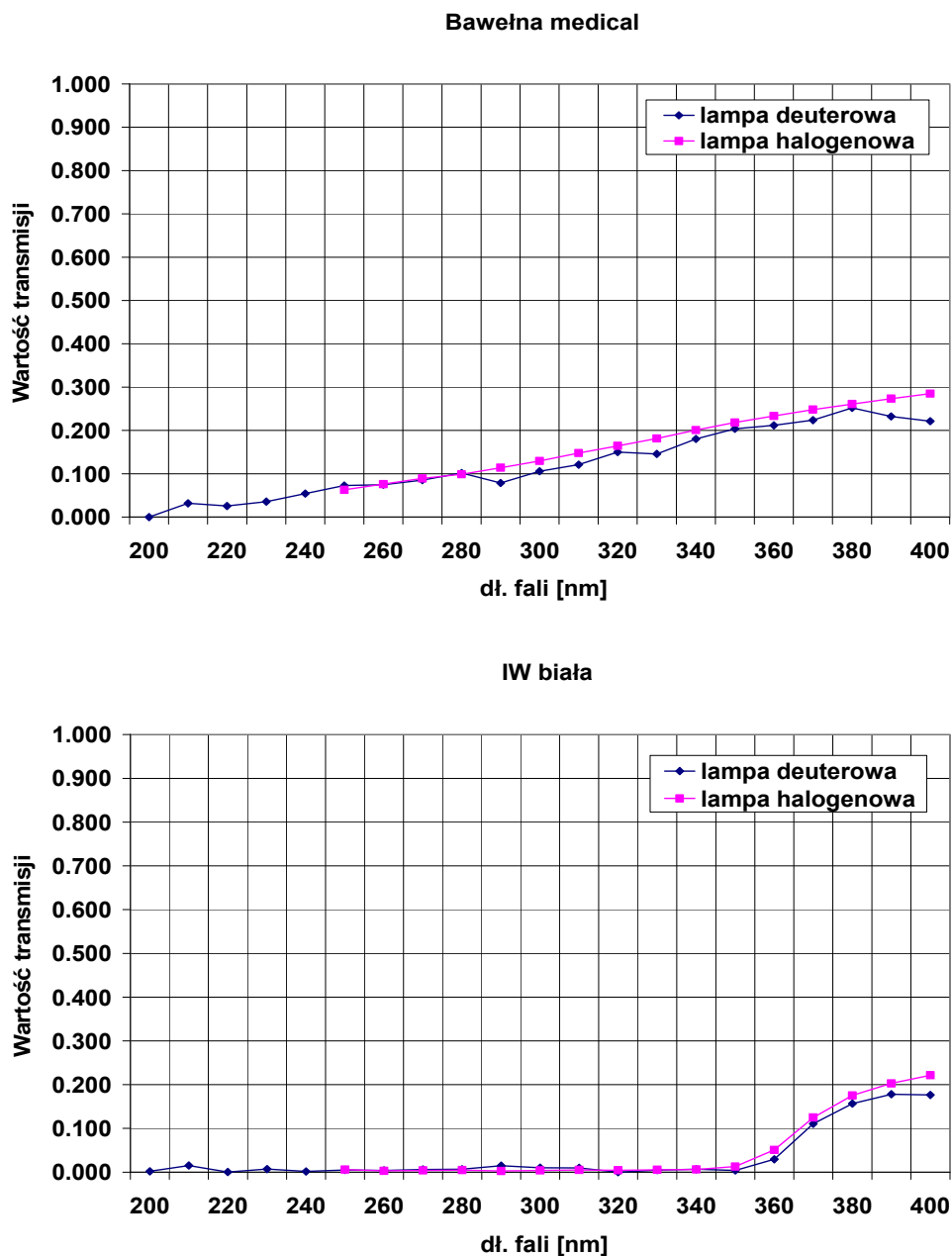
gdzie:

$E_{za\ tkanina}(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienia promieniowania źródła UV po przejściu promieniowania przez tkaninę;

$E_{źródła}(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienia promieniowania źródła UV.

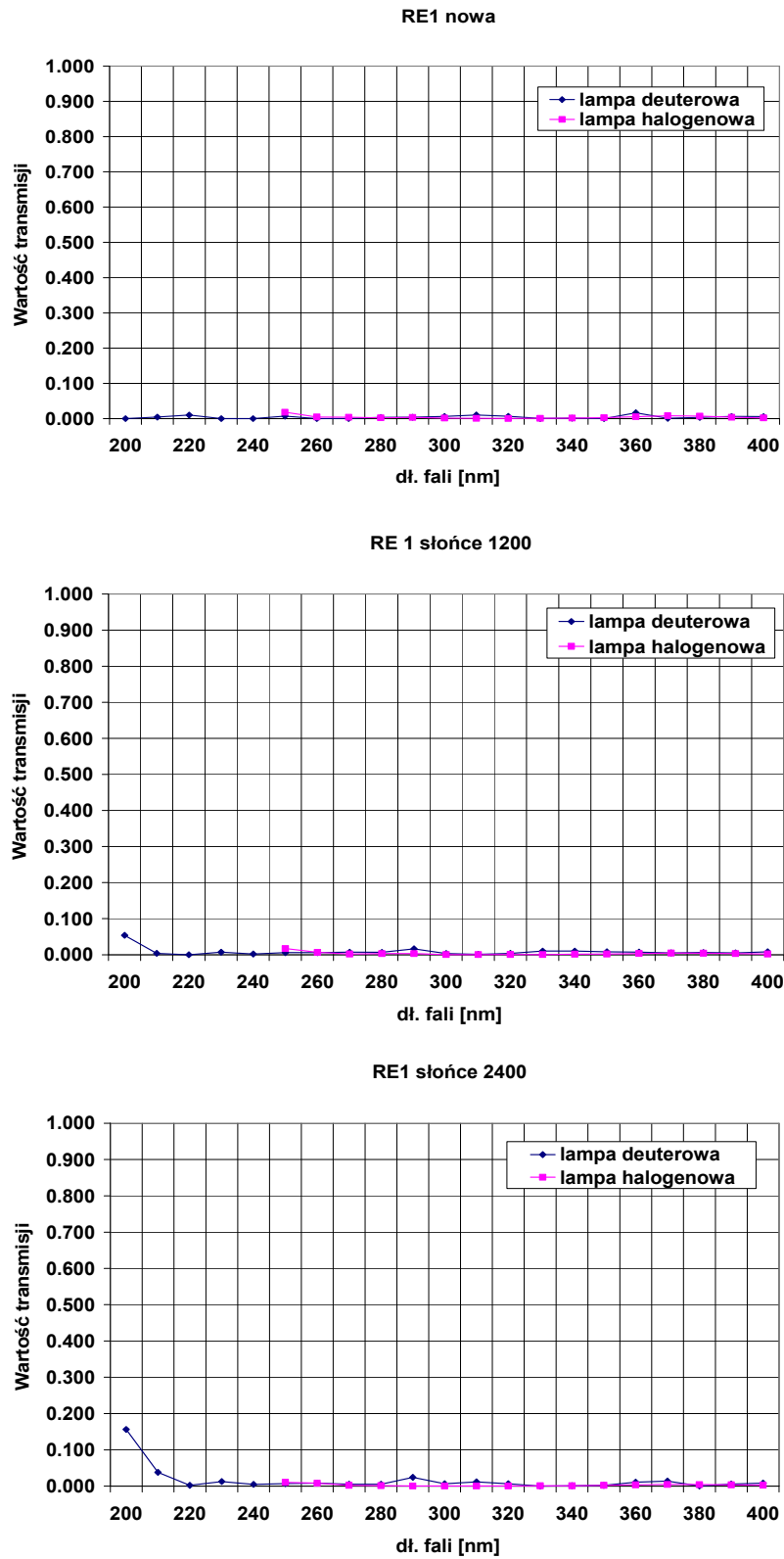
Widmowa transmisja promieniowania wyznaczona była dla wszystkich 19 próbek. Poniższej przedstawiono wykresy widmowej transmisji wybranych pięciu próbek materiałów włókienniczych: tkaniny i dzianiny bawełnianej

(rys. 3) oraz tkaniny poliestrowo-bawełnianej fluorescencyjnej nowej oraz po kondycjonowaniu w warunkach środowiskowych (rys. 4).



Rys. 3. Transmisja widmowa tkaniny bawełnianej medical (nr próbki 1) i dzianiny bawełnianej IW (nr próbki 2) przy naświetlaniu lampą halogenową i deuterową

Przedstawione na rysunku 3 transmisje widmowe wskazują, że próbki tkaniny bawełnianej medical i dzianiny bawełnianej IW przepuszczały stosunkowo dużo promieniowania z zakresu UVA, natomiast tkanina medical przepuszczała również promieniowanie w zakresie UVB i UVC.



Rys. 4. Transmisja widmowa tkaniny fluorescencyjnej żółtej RE1: nowej (nr próbki 3) oraz po kondycjonowaniu w warunkach środowiskowych (nr próbek 4 i 5) przy naświetlaniu lampą halogenową i deuterową

Próbki tkaniny poliestrowo-bawełnianej fluorescencyjnej żółtej: RE1 (nr próbek: 3÷5) wykazały bardzo dobre własności barierowe przed UV, bez względu na ich kondycjonowanie. Jednak można zauważyć, że po kondycjonowaniu w warunkach środowiskowych spadają ich własności barierowe dla promieniowania z zakresu UVC.

Analizując wykresy transmisji widmowej badanych próbek przedstawione na rysunkach 3 i 4, można zauważyć, że charakter ich przebiegów przy naświetlaniu każdym ze źródeł promieniowania jest bardzo zbliżony. Natomiast istotnym aspektem jest fakt, że tkaniny w różny sposób tłumią poszczególne podzakresy UV. Niektóre bardziej tłumią w zakresie UVC, a mniej w zakresie UVA, natomiast inne bardziej w zakresie UVA i UVB, a mniej w zakresie UVC. Dlatego przy wyborze materiału barierowego istotnym jest to, jaka jest charakterystyka widmowa emisji danego źródła. Jeśli mamy sztuczne źródło promieniowania intensywnie świecące w zakresie UVC, a mniej w UVA, to wybieramy tkaninę o większym tłumieniu w zakresie UVC.

5.2. Skuteczne natężenie napromienienia przy uwzględnieniu różnych skuteczności widmowych biologicznego oddziaływania UV

TABELA 3

Skuteczne natężenia napromienienia przy naświetlaniu lampą halogenową

Nr próbki	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ² , wyznaczone według skuteczności				
	Erytemalnej od 200 nm	Erytemalnej od 290 nm	Raka skóry	Uszkodzenia DNA	Aktywności
1	9,05E-03	4,87E-03	7,12E-03	3,41E-03	5,61E-03
2	3,44E-04	1,80E-04	2,16E-04	1,38E-04	2,06E-04
3	2,47E-04	7,77E-05	9,26E-05	1,39E-04	1,66E-04
4	2,13E-04	5,08E-05	5,42E-05	1,30E-04	1,45E-04
5	1,28E-04	1,30E-05	1,69E-05	1,02E-04	9,06E-05
6	1,19E-04	2,34E-05	3,09E-05	8,19E-05	8,91E-05
7	9,08E-05	3,01E-05	3,44E-05	4,61E-05	5,67E-05
8	1,88E-04	5,73E-05	7,38E-05	1,15E-04	1,27E-04
9	5,93E-03	2,79E-03	4,02E-03	2,60E-03	3,86E-03
10	1,58E-03	9,78E-04	1,49E-03	4,89E-04	9,07E-04
11	3,97E-04	2,42E-04	3,52E-04	1,34E-04	2,26E-04
12	3,51E-04	2,03E-04	3,09E-04	1,32E-04	1,77E-04
13	6,92E-04	3,92E-04	5,88E-04	2,48E-04	4,19E-04
14	4,04E-04	2,39E-04	3,79E-04	1,44E-04	2,40E-04
15	6,39E-04	2,73E-04	4,10E-04	3,03E-04	4,06E-04
16	1,57E-03	7,13E-04	1,05E-03	7,29E-04	1,01E-03
17	8,51E-04	3,70E-04	5,51E-04	4,04E-04	5,53E-04
18	1,79E-03	8,77E-04	1,31E-03	7,54E-04	1,14E-03
19	5,11E-03	2,46E-03	3,56E-03	2,19E-03	3,30E-03
Lampa halogenowa	8,13E-02	3,78E-02	5,43E-02	3,58E-02	5,29E-02

Wyznaczone wartości skutecznego natężenia napromienienia promieniowania lampy halogenowej i deuterowej po przejściu przez poszczególne próbki materiałów przy uwzględnieniu poszczególnych skuteczności biologicznych nadfioletu przedstawiono w tabelach 3 i 4.

TABELA 4

Skuteczne natężenia napromienienia przy naświetlaniu lampą deuterową

Nr próbki	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ² , wyznaczone według skuteczności				
	Erytemalnej od 200 nm	Erytemalnej od 290 nm	Raka skóry	Uszkodzenia DNA	Aktywności
1	3,36E-03	3,50E-04	4,84E-04	1,30E-03	1,64E-03
2	4,22E-04	4,45E-05	5,41E-05	9,30E-05	1,43E-04
3	2,30E-04	1,97E-05	2,85E-05	3,40E-05	6,10E-05
4	6,15E-04	3,31E-05	3,33E-05	1,07E-04	1,51E-04
5	1,73E-03	5,43E-05	5,89E-05	1,20E-04	2,37E-04
6	1,57E-03	4,00E-05	5,19E-05	9,84E-05	2,20E-04
7	4,78E-04	6,23E-05	8,39E-05	8,84E-05	1,46E-04
8	2,02E-03	5,23E-05	7,59E-05	2,79E-04	3,59E-04
9	1,94E-03	1,22E-04	1,78E-04	6,57E-04	8,53E-04
10	1,13E-04	3,49E-05	4,35E-05	2,73E-05	5,28E-05
11	1,71E-03	2,84E-05	3,89E-05	7,09E-05	1,87E-04
12	9,15E-04	3,93E-05	5,50E-05	1,00E-04	1,89E-04
13	7,74E-04	1,45E-05	2,61E-05	8,21E-05	1,37E-04
14	2,16E-03	4,35E-05	5,45E-05	1,43E-04	2,91E-04
15	1,52E-03	2,98E-05	4,08E-05	1,91E-04	2,91E-04
16	1,38E-03	6,48E-05	9,34E-05	2,01E-04	3,26E-04
17	2,66E-03	7,97E-05	1,08E-04	3,25E-04	5,45E-04
18	1,39E-03	4,94E-05	6,09E-05	8,08E-05	1,60E-04
19	5,29E-03	2,22E-04	2,96E-04	1,11E-03	1,57E-03
Lampa deuterowa	6,69E-02	3,68E-03	4,84E-03	1,56E-02	2,26E-02

Skuteczne wartości natężenia napromienienia promieniowania UV emitowanego przez lampę halogenową są większe niż emitowanego przez lampę deuterową. Z tego też względu wartości skutecznego natężenia napromienienia przechodzącego przez próbki przy naświetlaniu lampą deuterową są mniejsze niż przy naświetlaniu lampą halogenową.

5.3. Współczynniki barierowości przed sztucznym UV

W tabeli 5 przedstawiono wyliczone wartości poszczególnych współczynników barierowości przy naświetlaniu lampą deuterową i halogenową. Wyznaczone wartości poszczególnych współczynników barierowości znacząco

się różnią, zarówno między badanymi próbkami, jak również dla danej próbki przy naświetlaniu różnymi promiennikami UV. Wynika to przede wszystkim z różnej widmowej transmisji promieniowania poszczególnych próbek oraz różnego zakresu i rozkładu widmowego obu zastosowanych w badaniach wzorców promieniowania UV. W przypadku, gdy badana próbka przepuszczała promieniowanie UVC w zakresie poniżej 250 nm, natomiast silnie tłumiała promieniowanie z zakresu UVA i UVB (np. próbki nr 3 ÷ 8, tkaniny fluorescencyjne: RE1 i RE2), to współczynnik $UPF(A)$ przy lampie halogenowej osiągał dużo większe wartości niż przy lampie deuterowej, gdyż lampa halogenowa nie emituje promieniowanie poniżej 250 nm. Natomiast, gdy badana próbka przepuszczała stosunkowo dużo promieniowania w zakresie UVA i UVB, to wówczas $UPF(A)$ osiągał większe wartości przy lampie deuterowej (np. przy próbce nr 1, 9 i 10).

TABELA 5

Współczynniki barierowości przy poszczególnych skutecznościach biologicznych przy naświetlaniu lampą deuterową i halogenową

Nr próbki	Lampa deuterowa					Lampa halogenowa				
	$UPF(A)$	UPF	$SCPF$	$DDPF$	$AUPF$	$UPF(A)$	UPF	$SCPF$	$DDPF$	$AUPF$
1	20	11	10	12	14	9,0	8	8	11	9
2	159	83	89	168	158	237	211	251	260	256
3	291	187	170	461	370	329	487	586	257	318
4	109	111	145	146	149	381	745	1002	275	366
5	39	68	82	130	95	634	2902	3219	351	584
6	43	92	93	158,9	103	684	1617	1755	437	593
7	140	59	58	177	155	895	1255	1578	776	932
8	33	70	68	56	63	433	660	735	311	418
9	34	30	27	24	27	14	14	14	14	14
10	590	106	111	573	428	51	39	37	73	58
11	39	130	124	221	121	204	156	154	267	234
12	73	94	88	156	119	232	186	176	271	299
13	87	254	186	190	164	118	97	92	144	126
14	31	85	89	109	78	138	98	91	217	162
15	44	124	119	82	78	127	139	133	118	130
16	48	57	52	78	69	52	53	52	49	52
17	25	46	45	48	42	96	102	99	89	96
18	48	75	79	194	141	56	53	52	58	56
19	13	17	16	14	14	16	15	15	16	16

Analizując wartości UPF i $UPF(A)$, wyraźnie widać, że w większości przypadków wartości UPF (liczonego dla zakresu od 290 nm) są większe od

$UPF(A)$, który uwzględnia zakres UV poniżej 290 nm. W związku z tym można stwierdzić, że wskaźnik UPF nie jest właściwym wskaźnikiem skuteczności ochrony materiałów tekstylnych, szczególnie wobec źródeł sztucznych, emitujących w zakresie poniżej 290 nm.

W przypadku lampy halogenowej współczynniki $UPF(A)$ są co do wartości bardzo podobne do współczynnika $AUPF$, natomiast dla lampy deuterowej w wielu przypadkach różnią się znacząco. Współczynniki $SCPF$ przy lampie halogenowej osiągają większe wartości niż $AUPF$ i $UPF(A)$ dla wielu badanych tkanin. Natomiast porównując współczynniki $DDPF$ i $SCPF$ przy naświetlaniu lampą halogenową można zauważyć, że często występuje mniejsza barierowość materiałów przed działaniem kancerogennym, niż przed uszkodzeniem DNA. Odwrotnie jest w przypadku lampy deuterowej. Z tego względu, przy określaniu tych współczynników należy uwzględnić rozkład widmowy źródła.

Spośród badanych próbek materiałów w trzech przypadkach (próbka nr 1, nr 9 i nr 19) obliczone wartości UPF i $UPF(A)$ były mniejsze od 30, tj. od minimalnej wartości współczynnika UPF przyjętej w kryteriach oceny barierowości materiałów przed promieniowaniem słonecznym. Istotnym jest, że wartości badanych współczynników różnią się dla danej próbki materiału przy naświetlaniu jej różnymi źródłami UV. Wobec tego dany materiał może nie być dobrą barierą przy narażeniu na każde źródło promieniowania UV, zwłaszcza, gdy charakteryzują się różnymi rozkładami widmowymi promieniowania.

5.4. Kryteria oceny barierowości

Generalnie kryterium niezbędnej, minimalnej barierowości danej tkaniny powinno być ustalane na podstawie badań eksperymentalnych, które by określały, jaka jest minimalna skuteczna dawka promieniowania (skuteczne napromienienie), wywołująca dany skutek biologiczny. W przypadku skutku ostrego, jakim jest erytema, takie badania przeprowadzono. Ustalono, że w przypadku osób o I i II fototypie skóry napromienienie erytemalne równe 200 J/m^2 wywołuje rumień skóry niepreadaptowanej do UV, natomiast 600 J/m^2 – w skóry po preadaptacji na promieniowanie UV [13]. Brak jednak takich danych w przypadku skutków chronicznych, jak rak skóry czy uszkodzenie DNA, ze względu na kumulujący się efekt w czasie. W załączniku A1 do normy IEC 60335-2-27 [4] przyjmuje się dla solariów jako bezpieczne:

- natężenie napromienienia skuteczne kancerogennie równe 1 W/m^2 ;
- natężenie napromienienia skuteczne erytemalnie równe $0,7 \text{ W/m}^2$.

Przy takim kryterium 200 J/m^2 byłoby przekroczone po ok. 2,5 minuty, a 600 J/m^2 po ok. 13,5 minuty. Jednak czasy naświetlań w solariach są

zdecydowanie krótsze niż czas pracy pracowników na zewnętrznych stanowiskach pracy. Poza tym naświetlania w solarium mają z założenia wywołać erytemę i w konsekwencji opaleniznę, a barierowość tkaniny ma temu zapobiec. Dlatego przyjęcie tych wartości do opracowywanego kryterium barierowości nie wydaje się być odpowiednim.

W przypadku oceny ekspozycji pracowników na sztuczne promieniowanie UV, jako punkt wyjścia należałoby przyjąć dopuszczalne napromienienia aktywniczne, która wynosi 30 J/m^2 [3, 11]. I ta wartość powinna stanowić podstawę do ustalania kryteriów na *AUPF*. W tym celu wyznaczoną z pomiarów wartość natężenia napromienienia skutecznego aktywnicznie należy pomnożyć przez czas ekspozycji, przyjmując maksymalny dobowy wymiar czasu pracy, tj. 8 godzin (28 800 s) i sprawdzić, czy skuteczne napromienienie będzie przekraczało wartość MDE, tj. 30 J/m^2 . Natomiast dopuszczalny czas ekspozycji określa się dzieląc ww. wartość MDE przez zmierzoną wartość skuteczną natężenia napromienienia. Analizując tak wyznaczone czasy dopuszczalnej ekspozycji z wyznaczonymi wartościami *AUPF* dla poszczególnych próbek, można dla danego rodzaju źródła określić wartość graniczną *AUPF*, tj. taką, jaka odpowiada osiągnięciu dawki 30 J/m^2 w czasie ok. 8 godzin pracy.

W przypadku badanej wzorcowej lampy halogenowej OL 200IR występuje ochrona przez 8 godzin dla dawki 30 J/m^2 przy *AUPF* > 55, natomiast dla lampy deuterowej OL UV-40 przy *AUPF* > 25. Dlatego nie można przyjąć jednej wartości kryterialnej *AUPF* dla wszystkich źródeł UV.

6. PODSUMOWANIE

W celu ochrony przed promieniowaniem UV narażonych partii ciała należy stosować odzież i rękawice ochronne o odpowiedniej konstrukcji, gwarantującej zabezpieczenia skóry użytkownika przed szkodliwym wpływem tego promieniowania. Materiały stosowane na odzież i rękawice powinny charakteryzować się współczynnikiem barierowości przed UV odpowiednio dobranym do rodzaju źródła promieniowania.

Przy doborze materiałów na odzież i rękawice ochronne należy rozróżnić sztuczne i naturalne źródła promieniowania. W przypadku narażenia na naturalne promieniowanie UV należy stosować materiały o *UPF* co najmniej 30, natomiast w przypadku ekspozycji na sztuczne źródła UV należy kierować się innymi współczynnikami barierowości. Przeprowadzone badania barierowości materiałów włókienniczych przed sztucznym promieniowaniem UV wykazały, że:

- współczynnik barierowości $AUPF$ jest najbardziej odpowiedni przy określaniu stopnia ochrony przed sztucznym promieniowaniem UV, gdyż krzywa skuteczności aktywna uwzględniana jest przy ocenie zagrożenia tym promieniowaniem na stanowiskach pracy oraz odzwierciedla skuteczność promieniowania UV w wywoływaniu zarówno rumienia, jak i raka skóry; można wtedy pominąć dodatkowe rozpatrywanie $UPF(A)$ i $SCPF$;
- nie ma jednej uniwersalnej wartości współczynnika $AUPF$ dla wszystkich sztucznych źródeł UV, zatem dla typowych, najczęściej stosowanych źródeł promieniowania UV powinno się osobno wyznaczyć wartości graniczne tego współczynnika;
- nie można w chwili obecnej ustalić kryteriów oceny dla współczynników $SCPF$ i $DDPF$ ze względu na brak danych literaturowych odnośnie potencjalnych dawek promieniowania UV, które mogłyby wywołać raka skóry lub uszkodzenie DNA.

Aktualnie przyjmuje się, że jeśli pracownik ma skórę zakrytą odzieżą i rękawicami (np. bawełnianymi), to oznacza, że jest właściwie chroniony przed UV. Niestety, nie zawsze takie ubranie zapewnia wystarczającą ochronę. Zastosowanie w praktyce nowego współczynnika $AUPF$ do określania barierowości materiałów włókienniczych stosowanych na odzież ochronną przed sztucznym UV pozwoli na dokonywanie właściwego doboru odzieży i rękawic ochronnych na różnych stanowiskach pracy, gdzie występuje narażenie na sztuczne promieniowanie UV, a tym samym przyczyni się do zwiększenia ochrony pracowników przed szkodliwymi skutkami działania nadfioletu.

Publikacja została przygotowana w ramach Projektu Kluczowego POIG nr 01.03.02-00-006/08 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Podziękowania

Autorka dziękuje mgr inż. Agacie Latale za współudział przy wykonywaniu badań oraz dr. inż. Grzegorzowi Owczarkowi i dr Grażynie Bartkowiak za pomocną dyskusję uzyskanych wyników badań.

LITERATURA

1. Commission Internationale de l'Éclairage, CIE S 007-1998, Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose.
2. Commission Internationale de l'Éclairage, Publication CIE no 138, CIE Collection in Photo-biology and Photochemistry, 2000.
3. Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) Dz.U. UE L114/38 z 27.04.2006.
4. IEC 60335-2-27: 2009. Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-27: Particular requirements for appliances for skin exposure to ultraviolet and infrared radiation.
5. PN-T-06589: 2002 Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.
6. PN-T-06704: 2003. Zestawienie maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji dla niekoherentnego (nielaserowego) promieniowania optycznego.
7. PN-EN 13758-1+A1: 2007. Tekstylia – Właściwości ochronne przed działaniem promieniowania UV – Część 1: Metoda badania płaskich wyrobów włókienniczych.
8. PN-EN ISO 105-B04: 1999. Tekstylia. Badania odporności wybarwień. Odporność wybarwień na sztuczną pogodę: Test płowienia w świetle łukowej lampy ksenonowej.
9. PN-EN 7854: 2002. Płaskie wyroby tekstylne powleczone gumą lub tworzywami sztucznymi – Wyznaczanie odporności na uszkodzenie przy zginaniu.
10. PN-EN ISO 6330:2002/A1:2009. Tekstylia. Metody prania domowego i suszenia stosowane do badania płaskiego wyrobu włókienniczego.
11. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. z 2010 nr 141 poz. 950)
12. Sprawozdanie nr R.3.1 pt. Kryteria i metodyka oceny środków ochrony indywidualnej przeznaczonych do stosowania na stanowiskach pracy o wysokim poziomie promieniowania ultrafioletowego. Zadanie 3: Opracowanie kryteriów i metodyki oceny środków ochrony indywidualnej przeznaczonych do stosowania na stanowiskach pracy o wysokim poziomie promieniowania UV. Temat II, Materiały barierowe chroniące przed promieniowaniem ultrafioletowym (UV). Projekt kluczowy POIG.01.03.01-00-006/08 Barierowe materiały nowej generacji, chroniące człowieka przed szkodliwym działaniem środowiska; realizowany w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym.
13. Vecchia P., Hietanen M., Stuck B.E., Denveter E., Niu S.: Protecting workers from ultraviolet radiation, ICNIRP 14/2007.

ASSESSMENT OF TEXTILES BARRIER PROPERTIES AGAINST UV USING DIFFERENT BIOLOGICAL ACTION EFFECTIVENESS

Agnieszka WOLSKA

ABSTRACT *The article presents proposition of four new textiles barrier factors against UV, which taking into account the following biological effectiveness: actinic, skin cancer, DNA damage and erythema. Results of 19 textile samples measurements irradiated by two different UV sources (halogen and deuterium lamps) were the base to determine criteria of assessment of textiles barrier against artificial UV. It was stated that AUPF is the most appropriate barrier factor against artificial UV. However, because of big differences between AUPF values, which reflect good protection for different UV sources, it was recommended to determine limit values for each group of UV sources of specific spectral characteristic.*

Keywords: *UV radiation, textiles, barrier factors against UV, biological effectiveness of UV*

Dr inż. Agnieszka WOLSKA jest kierownikiem Pracowni Promieniowania Optycznego w CIOP-PIB. Jest doświadczonym ekspertem w zakresie oświetlenia, ergonomii widzenia i promieniowania optycznego. Prowadzi prace badawcze z zakresu wpływu różnych parametrów oświetlenia na zmęczenie wzroku i wydajność pracy, określania własności użytkowych systemów sterowania oświetleniem oraz opracowania metod pomiaru i oceny ryzyka zawodowego związanego z oświetleniem i promieniowaniem optycznym (laserowym i nielaserowym). Wykonuje ekspertyzy oświetlenia oraz badania oceny ryzyka zawodowego związanego z promieniowaniem optycznym. Jest certyfikowanym wykładowcą bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie: oświetlenia, ergonomii i promieniowania optycznego. Ponadto jest autorem lub współautorem wielu referatów, artykułów, monografii i poradników.

