

Grzegorz OWCZAREK  
Grażyna BARTKOWIAK  
Agnieszka WOLSKA  
Grzegorz GRALEWICZ

## NOWE METODY OCENY BARIEROWOŚCI MATERIAŁÓW PRZEZNACZONYCH NA ODZIEŻ CHRONIĄCĄ PRZED SZKODLIWYM SZTUCZNYM PROMIENIOWANIEM NADFIOLETOWYM

**STRESZCZENIE** *Określona dawka promieniowania nadfioletowego jest ważnym czynnikiem środowiska, niezbędnym do prawidłowego rozwoju i działalności człowieka. Nadmierna ekspozycja tego promieniowania może wywołać negatywne skutki dla oczu i skóry oraz wpływa na system immunologiczny. Skóra narażona na ekspozycję promieniowania nadfioletowego powinna być osłonięta przez odzież roboczą lub ochronną o niskiej transmisji tego promieniowania. Dotyczy to zarówno ekspozycji na naturalne promieniowanie, jak również na sztuczne promieniowanie UV. Do tej pory nie ma jasnych kryteriów do oceny właściwości ochronnych przed sztucznym UV dla odzieży wykonanej z materiałów tekstylnych. Współczynnik UPF (Ultraviolet Protection Factor) jest odpowiedni do oceny właściwości ochronnych przed promieniowaniem słonecznym, lecz nie uwzględnia on zakresu nadfioletu od 190 do 290 nm, charakterystycznego dla typowych źródeł sztucznego promieniowania UV. W niniejszym artykule zaprezentowano koncepcję nowej metody do oceny barierowości materiałów przeznaczonych na odzież chroniącą przed szkodliwym sztucznym promieniowaniem nadfioletowym.*

**Słowa kluczowe:** *środki ochrony indywidualnej, promieniowanie nadfioletowe, zagrożenia w miejscu pracy*

---

**dr inż. Grzegorz OWCZAREK, dr inż. Grażyna BARTKOWIAK**  
e-mail: growc@ciop.lodz.pl; e-mail: grbar@ciop.lodz.pl

**dr inż. Agnieszka WOLSKA, dr inż. Grzegorz GRALEWICZ**  
e-mail: agwol@ciop.lodz.pl; e-mail: grgra@ciop.lodz.pl

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 255, 2012

## 1. WSTĘP

---

Promieniowanie optyczne jest ważnym czynnikiem środowiska, niezbędnym do prawidłowego rozwoju i działalności człowieka, jednak jego nadmiar powoduje wiele niekorzystnych skutków biologicznych. Powodem wielu szkodliwych reakcji fotochemicznych w organizmie człowieka może być promieniowanie nadfioletowe (UV). Działanie UV ma charakter fotochemiczny, a skutek biologiczny tego promieniowania zależy od ilości pochłoniętego promieniowania, długości fali i od rodzaju ekspozowanej tkanki (oko, skóra). Ilość pochłoniętego przez tkankę promieniowania (dawka promieniowania) jest zależna od jej napromienienia (iloczyn natężenia napromieniowania i czasu ekspozycji) oraz współczynników odbicia i przepuszczania ekspozowanej tkanki. Promieniowanie nadfioletowe, pochłonięte w nadmiarze przez skórę może spowodować oparzenia, zmiany pigmentacji, a także zmiany nowotworowe. Na promieniowanie nadfioletowe narażeni są głównie pracownicy wykonujący pracę w przestrzeni otwartej, jak również poddani oddziaływaniu promieniowania emitowanego przez sztuczne źródła UV. Szacunkowa liczba zatrudnionych na zewnętrznych stanowiskach pracy w Polsce wynosi około 9% wszystkich zatrudnionych [12]. W wielu branżach występuje narażenie pracowników na sztuczne źródła UV, gdyż promieniowanie to wykorzystuje się m.in. do dezynfekcji powietrza i cieczy, opatrunków medycznych, narzędzi, itp., a także w diagnostyce i leczeniu schorzeń dermatologicznych, w procesach suszenia, utwardzania i fotopolimeryzacji, do wywoływania zjawiska fluorescencji, zwabiania insektów czy do wywoływania wizualnych efektów specjalnych oraz w kosmetyce. Najczęściej występujące na stanowiskach pracy zakresy sztucznego UV to UVC i UVA. Rzadziej stosowane są promienniki emitujące jednocześnie UVA i UVB. Promienniki UVB stosowane są przede wszystkim w dermatologii i kosmetyce [12].

## 2. UREGULOWANIA PRAWNE DOTYCZĄCE ZAGROŻEŃ PROMIENIOWANIEM NADFIOLETOWYM

---

Dyrektywa 2006/25/WE [3] określa kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym (laserowym i nielaserowym) oraz najwyższe dopuszczalne wartości natężenia (NDN). Jeśli na stanowisku pracy występują

przekroczenia wartości NDN dla nielaserowego promieniowania optycznego, w tym nadfioletu dla zakresu promieniowania UV, wówczas stwierdza się duże ryzyko zawodowe i muszą być podjęte natychmiastowe działania ograniczające to ryzyko. Jeśli nie jest możliwe ograniczenie ekspozycji na promieniowanie optyczne środkami technicznymi czy organizacyjnymi, wówczas konieczne jest zastosowanie odpowiednich środków ochrony indywidualnej. W przypadku występowania przekroczenia najwyższych dopuszczalnych wartości natężenia na promieniowanie nadfioletowe dla oczu, konieczne jest zastosowanie odpowiednich okularów lub gogli ochronnych; jeśli występuje przekroczenie dla oczu i skóry twarzy – wówczas konieczne jest zastosowanie odpowiednich osłon twarzy. W przypadku nadmiernej ekspozycji skóry pozostałych części ciała jak ręce, tułów czy szyja, należy stosować odzież ochronną i rękawice wykonane z odpowiednich materiałów barierowych. Przyjęte w Unii Europejskiej kryteria oceny zagrożenia oraz wartości NDN związane z promieniowaniem optycznym, w tym promieniowaniem nadfioletowym, dotyczą ekspozycji pracowników tylko na sztuczne źródła promieniowania. Pomimo tego w przypadku ekspozycji na promieniowanie słoneczne, która występuje u pracowników wykonujących prace na wolnym powietrzu (np. w budownictwie, rybołówstwie czy rolnictwie), należy również dokonywać oceny ryzyka zawodowego związanego z tym czynnikiem, gdyż jest to czynnik szkodliwy dla zdrowia. Należy również podjąć działania ograniczające to ryzyko i zapewniające pracownikom bezpieczne warunki pracy. Obowiązek ten wynika z ogólnych przepisów dotyczących bezpieczeństwa pracy w tym z dyrektywy nadrzędnej, ramowej – 89/391/EWG [4].

Odzież ochronna i rękawice stosowane do ochrony przed promieniowaniem nadfioletowym powinny stanowić barierę w stosunku do tego promieniowania. Dobór środków ochrony indywidualnej zabezpieczających przed promieniowaniem nadfioletowym powinien być dokonywany na podstawie analizy ryzyka na danym stanowisku pracy, przy uwzględnieniu wszystkich występujących zagrożeń. Obecnie jedynym znormalizowanym wskaźnikiem określającym barierowość materiałów włókienniczych, przeznaczonych na odzież chroniącą przed promieniowaniem nadfioletowym jest UPF (ang. *Ultraviolet Protective Factor*) [8]. Jednak współczynnik UPF nie jest odpowiednim wskaźnikiem do oceny stopnia barierowości materiałów włókienniczych przed promieniowaniem nadfioletowym emitowanym ze źródeł sztucznych. Wynika to z faktu, iż dla wyznaczenia UPF wartość widmowej transmisji promieniowania ważona jest jedynie przez rozkład widmowy promieniowania w zakresie od 290 nm do 400 nm. Zakres ten nie obejmuje promieniowania UVC, które jest emitowane z wielu źródeł sztucznych. Ponadto przy wyliczeniu tego wskaźnika uwzględnia się jedynie działanie rumieniotwórcze promieniowania natomiast nie uwzględnia się np. działania kancerogennego i związanego z uszkodzeniem DNA.

### 3. ANALIZA METOD DEFINIUJĄCYCH BARIEROWOŚĆ MATERIAŁÓW CHRONIĄCYCH PRZED PROMIENIOWANIEM NADFIOLETOWYM

---

W przypadku ochrony przed promieniowaniem nadfioletowym materiał włókienniczy można traktować podobnie jak filtr [14]. Można posłużyć się daleko idącą analogią pomiędzy filtrami optycznymi – używanymi np. w środkach ochrony oczu – a barierowymi materiałami włókienniczymi, których zadaniem jest ochrona przed UV. W przypadku oceny skuteczności ochrony materiałów włókienniczych przeznaczonych do zabezpieczenia przed działaniem szkodliwego promieniowania nadfioletowego, należy wyznaczyć parametr, który będzie odzwierciedlał ilość UV absorbowanego i odbitego przez materiał włókienniczy. Promieniowanie optyczne padając na materiał włókienniczy ulega trzem zasadniczym procesom, tj. transmisji (T), odbiciu (R) i absorpcji (A). Zgodnie z równaniem bilansu energetycznego [15]:

$$A + R + T = I \quad (1)$$

Podobnie jak w przypadku elementów optycznych (ochronnych filtrów optycznych) dla materiałów włókienniczych chroniących przed UV ocenie podlegają właściwości transmisyjne promieniowania optycznego w zakresie nadfioletu.

Filtry optyczne przeznaczone mogą być do ochrony przed promieniowaniem nadfioletowym, podczerwonym i widzialnym. Charakterystyka widmowa przepuszczania (zależność transmisji od długości fali) jest rodzajem „wizytówki” filtra optycznego. Na jej podstawie można określić wskaźniki charakteryzujące właściwości barierowe filtra dla określonego zakresu widmowego [2]. W przypadku filtrów optycznych wyróżnia się trzy podstawowe sposoby wykorzystywane przy definiowaniu wskaźników określających właściwości ochronne. Pierwszy sposób polega na określeniu widmowego współczynnika przepuszczania ( $\tau(\lambda)$ ), nazywanego również transmisją widmową. Widmowy współczynnik przepuszczania jest stosunkiem ilości promieniowania przechodzącego przez filtr do ilości promieniowania padającego, dla jednej wybranej długości fali [5]. Wartości widmowych współczynników przepuszczania są m.in. podstawą do określenia właściwości barierowych filtrów chroniących przed promieniowaniem laserowym, a więc w przypadku, gdy zagrożeniem jest promieniowanie optyczne z wąskiego zakresu widmowego.

Widmowe współczynniki przepuszczania wykorzystuje się również przy ocenie filtrów optycznych chroniących przed promieniowaniem nadfioletowym. Dla tego typu filtrów badane są wartości widmowych współczynników przepuszczania dla dwóch charakterystycznych długości fali nadfioletu (313 i 365 nm) [9]. Kolejny sposób polega na definiowaniu średnich widmowych współczynników przepuszczania. W tym przypadku określana jest wartość średnia współczynnika przepuszczania dla wybranego zakresu długości fali. Sposób ten znalazł zastosowanie m.in. przy ocenie filtrów optycznych chroniących przed podczerwienią. Dla tego typu filtrów określone są m.in. średnie widmowe współczynniki przepuszczania podczerwieni filtrów optycznych dla dwóch zakresów, od 780 do 1400 nm i od 780 do 2000 nm [10]. Oba opisane powyżej sposoby nie uwzględniają jednak skuteczności oddziaływania promieniowania optycznego w korelacji z jego rozkładem widmowym. Przykładami wskaźników uwzględniających skuteczność widmową i rozkład promieniowania optycznego są np. widmowy współczynnik przepuszczania UV dla promieniowania słonecznego ( $\tau_{\text{SUV}}$ ) stosowany przy ocenie filtrów optycznych [11], oraz UPF dla materiałów włókienniczych [8]. Wzory definiujące wymienione wskaźniki przedstawiono poniżej:

$$\tau_{\text{SUV}} = \frac{\int_{280\text{nm}}^{380\text{nm}} \tau(\lambda) \cdot E_{S\lambda}(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{280\text{nm}}^{380\text{nm}} E_{S\lambda}(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2)$$

$$\text{UPF} = \frac{\int_{290\text{nm}}^{400\text{nm}} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{290\text{nm}}^{400\text{nm}} \tau(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda} \quad , \quad (3)$$

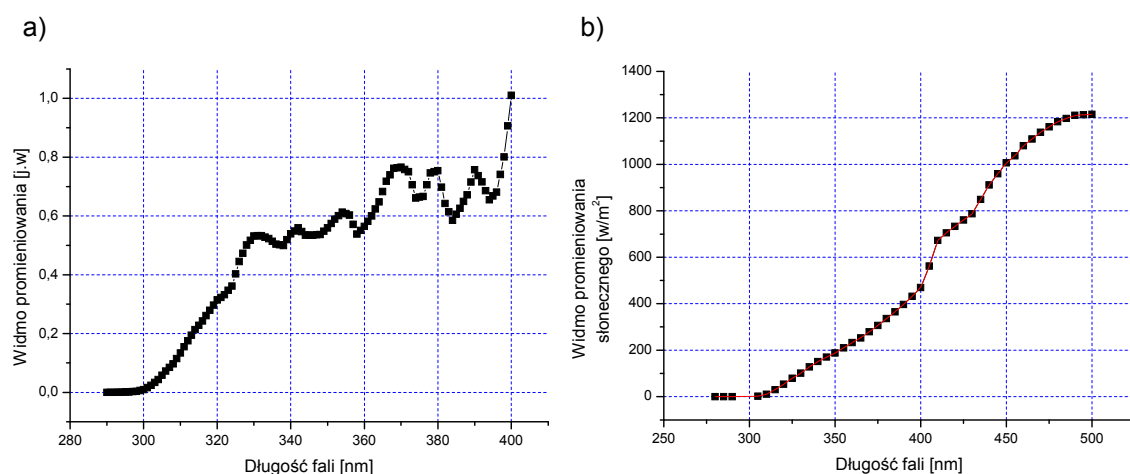
gdzie:

- $E(\lambda)$  i  $E_{S\lambda}(\lambda)$  – rozkłady widmowe naturalnego promieniowania UV i promieniowania słonecznego;
- $S(\lambda)$  – względna skuteczność widmowa szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę (zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE dla źródeł sztucznych);
- $\varepsilon(\lambda)$  – spectrum względna skuteczność widmowa wywołania rumienia skóry;
- $\tau(\lambda)$  – transmisja widmowa promieniowania przez filtr optyczny lub materiał włókienniczy.

W obu przypadkach charakterystyczne jest to, że wartości transmisji widmowej ważone są funkcją, która jest iloczynem rozkładu widmowego i sku-

teczności widmowej. Wartość takich wskaźników, jak zaprezentowane wzorami (2) i (3), zależą więc w znaczący sposób od przyjętej do obliczeń funkcji wagowej. Przy obliczaniu wskaźnika  $\tau_{\text{SUV}}$  funkcja wagowa jest iloczynem względnej aktywności skuteczności widma szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę ( $S(\lambda)$ ) i widmowego rozkładu promieniowania słonecznego ( $E_{s\lambda}(\lambda)$ ). Do wyznaczenia wskaźnika UPF korzystamy z funkcji wagowej będącej iloczynem względnej skuteczności widmowej wywołania rumienia skóry ( $\varepsilon(\lambda)$ ) i rozkładu widma naturalnego promieniowania UV ( $E(\lambda)$ ). Wskaźniki określone we wzorach (2) i (3), pomimo podobieństwa w sposobie ich zdefiniowania, różnią się analizowanym zakresem widmowym (granice całkowania) oraz samą funkcją wagową. Istotna różnica w sposobie zdefiniowania tych wskaźników polega również na tym, że w przypadku  $\tau_{\text{SUV}}$  całka z funkcji wagowej znajduje się w mianowniku wzoru (2), a w przypadku wskaźnika UPF w liczniku wzoru (3). Oznacza to, że  $\tau_{\text{SUV}}$  jest ważonym, średnim współczynnikiem przepuszczania z określonego zakresu, natomiast UPF wyraża odwrotność średniego ważonego współczynnika przepuszczania. Może więc być interpretowany jako wskaźnik mówiący o krotność przekroczenia promieniowania padającego.

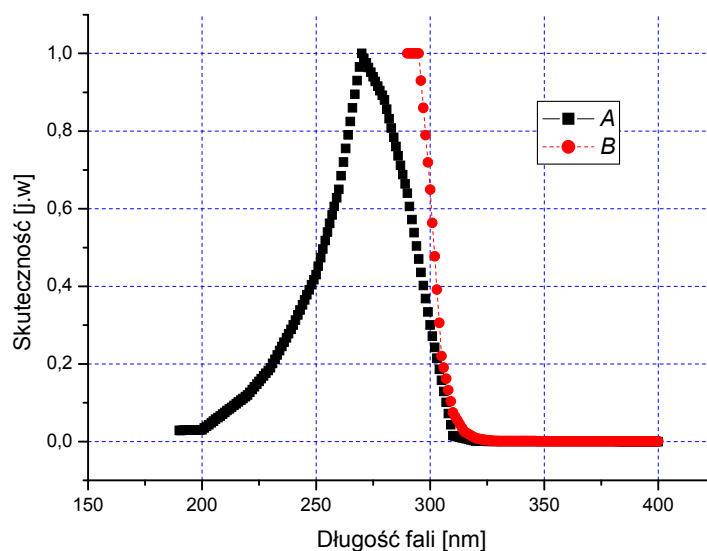
Konstrukcja funkcji wagowej oraz analizowany zakres widmowy mają istotne znaczenie przy definiowaniu wskaźnika określającego barierowość materiału. Dla UPF brany pod uwagę jest jedynie zakres promieniowania UV, który jest w widnie promieniowania słonecznego. Przyjęto zakres długości fali od 290 do 400 nm. W przypadku opisanym wzorem (2) mowa jest również o promieniowaniu UV znajdującym się w widnie promieniowania słonecznego. W tym przypadku przyjęto jednak nieco inne granice całkowania (od 280 do 380 nm). Na rysunku 1 przedstawiono krzywe  $E_{s\lambda}(\lambda)$  i  $E(\lambda)$  wykorzystywane do obliczeń  $\tau_{\text{SUV}}$  i UPF.



**Rys. 1. a) krzywa  $E_{s\lambda}(\lambda)$  wykorzystywana przy obliczeniach  $\tau_{\text{UVA}}$ ; b) krzywa  $E(\lambda)$  wykorzystywana przy obliczeniach UPF [16]**

Z uwagi na sposób zdefiniowania wskaźników, jako stosunku funkcji wagowej do iloczynu funkcji wagowej i transmisji widmowej (lub odwrotnie), nie ma znaczenia, że wartości określające widmowy rozkład promieniowania są podane w  $W/m^2$  lub jednostkach względnych. Z krzywych przedstawionych na rysunku 1 widać jednoznacznie, że w widmie promieniowania słonecznego ilość UV zwiększa się wraz ze wzrostem długości fali. Promieniowanie z zakresu UVC jest praktycznie całkowicie pochłaniane przez atmosferę. Pomimo różnic w jednostkach określających wartości widma promieniowania, widać, że obie krzywe mają zbliżony charakter.

W przypadku drugiego czynnika tworzącego funkcje wagowe zdefiniowane dla wskaźników  $\tau_{\text{SUV}}$  i UPF, sytuacja przedstawia się w sposób znacząco różny. Na rysunku 2 przedstawiono krzywe względnej aktywności skuteczności widma szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę ( $S(\lambda)$ ) oraz względnej skuteczności widmowej wywołania rumienia skóry ( $\varepsilon(\lambda)$ ).



**Rys. 2. A** – krzywa względnej aktywności skuteczności widma szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę ( $S(\lambda)$ ); **B** – krzywa względnej skuteczności widmowej wywołania rumienia skóry ( $\varepsilon(\lambda)$ ) [17]

Zasadnicza różnica wynika z ograniczenia zakresu długości fali od 290 nm dla względnej skuteczności widmowej wywołania rumienia skóry. Dla krzywej  $S(\lambda)$  maksimum skuteczności przypada na 270 nm. Dla krzywej  $\varepsilon(\lambda)$  maksimum skuteczności przypada na 290 nm. W obu przypadkach najniższa skuteczność to zakres długości fali do około 320 do 400 nm. Porównując obie krzywe przedstawione na rysunku 2 widać, że jeśli wartość wskaźnika UPF byłaby wyznaczana przy wykorzystaniu krzywej skuteczności aktywności  $S(\lambda)$ ,

to wyliczone wartości UPF byłyby niższe z uwagi na mniejsze wartości skuteczności aktywności w porównaniu z wartościami skuteczności widmowej wywołania rumienia skóry. Przykładowo wartość względnej skuteczności aktywności dla 290 nm, czyli dla maksimum krzywej  $\varepsilon(\lambda)$  wynosi 64% wartości względnej skuteczności widmowej wywołania rumienia.

W badaniach nad oddziaływaniem promieniowania nadfioletowego na ludzi opisane są jeszcze inne krzywe skuteczności widmowej. Są to m.in.: względna skuteczność widmowa wywoływania raka skóry, względna skuteczność widmowa wytwarzania witaminy D3 oraz względna skuteczność widmowa uszkodzenia DNA. Wymienione krzywe nie znajdują jednak zastosowania przy konstrukcji funkcji wagowych w definicjach aktualnie obowiązujących wskaźników określających właściwości materiałów barierowych chroniących przed promieniowaniem optycznym. Jak dotąd do tego celu stosuje się jedynie opisane powyżej krzywe  $S(\lambda)$  i  $\varepsilon(\lambda)$ . Krzywa  $S(\lambda)$  była stosowana do tej pory jedynie przy definiowaniu wskaźników określających właściwości barierowe optycznych filtrów ochronnych (stosowanych w środkach ochrony indywidualnej). Do oceny materiałów włókienniczych aktualnie stosowany jest jedynie wskaźnik UPF.

#### 4. NOWE WSKAŹNIKI BARIEROWOŚCI DLA MATERIAŁÓW WŁÓKIENNICZYCH

Nowym podejściem w ocenie barierowości materiałów włókienniczych jest zdefiniowanie wskaźników wykorzystujących krzywą względnej aktywności skuteczności widmowej szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę ( $S(\lambda)$ ). Krzywa ta pokrywa również zakres UVC, a więc obszar promieniowania wielu źródeł sztucznego UV. Koncepcja nowego wskaźnika określającego barierowość materiału włókienniczego może więc być analogiczna do sposobu zdefiniowania wskaźnika UPF. Przy takim podejściu wystarczy zamienić granice całkowania na zakres od 190 do 400 nm oraz funkcję wagową. Nowa funkcja wagowa będzie w tym przypadku iloczynem względnej skuteczności widmowej ( $S(\lambda)$ ) oraz rozkładu widmowego promieniowania emitowanego z dowolnego źródła. Nowo zdefiniowany wskaźnik barierowości można określić wzorem [1, 7]:

$$AUPF = \frac{\int_{190nm}^{400nm} E_A(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{190nm}^{400nm} \tau(\lambda) \cdot E_A(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} , \quad (4)$$



gdzie:

- $E_A(\lambda)$  – rozkład widmowy promieniowania UV emitowanego ze źródła sztucznego;
- $S(\lambda)$  – względna skuteczność widmowa szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę (zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE dla źródeł sztucznych);
- $\tau(\lambda)$  – transmisja widmowa promieniowania przez materiał włókienniczy.

Wskaźnik ten jest analogiczny do UPF. Do jego wyliczenia potrzebny jest rozkład widmowy źródła emitującego UV. Oznacza to, że w zależności od zastosowanego źródła otrzymamy inną wartość wskaźnika barierowości. Stosując takie podejście można w sposób bardzo precyzyjny określić właściwości barierowe materiału. Będą to właściwości barierowe odniesione do konkretnego źródła sztucznego promieniowania UV. Metoda taka nie ma więc charakteru uniwersalnego i może być utrudniona z punktu widzenia doboru odzieży ochronnej dostępnej na rynku. Z tego względu, przy projektowaniu wskaźników barierowości materiałów włókienniczych chroniących przed sztucznym UV założono, że mają one odnosić się do sztucznego UV emitowanego ze stałym średnim natężeniem w określonych zakresach widmowych. Przy takim założeniu transmisja widmowa może być ważona jedynie rozkładem względnej aktywności skuteczności widmowej szkodliwego oddziaływania nadfioletu. Wprowadzono pojęcie transmisji aktywności. Jest to wartość średnia transmisji widmowej ważonej rozkładem  $S(\lambda)$ . Całkowity zakres widmowy, dla którego wyliczana jest transmisja aktywności, zawiera się między 190 a 400 nm, czyli w pełnym zakresie widmowym dla rozkładu  $S(\lambda)$ . Wzór umożliwiający wyznaczenie transmisji aktywności dla zakresu od 190 do 400 nm jest następujący [7]:

$$T_{A(190-400)} = \frac{1}{n} \cdot \int_{190}^{400} \tau(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (5)$$

gdzie:

- $S(\lambda)$  – względna skuteczność widmowa szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę (zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE dla źródeł sztucznych);
- $\tau(\lambda)$  – transmisja widmowa promieniowania przez materiał włókienniczy;
- $n$  – czynnik wynikający ze sposobu kroku pomiarowego przy pomiarze transmisji. Np. dla pomiarów transmisji w przedziale od 190 do 400 nm z krokiem 10 nm, wartość czynnika  $n$  wynosi 21.

Ponadto ze względu na różną szkodliwość promieniowania UV w zależności od długości fali, podzielono zakres promieniowania UV na trzy podzakresy odpowiadające różnej szkodliwości tego promieniowania:

- (190-240) nm;
- (240-300) nm;
- (300-400) nm.

Średni widmowy współczynnik transmisji skorygowany aktywnie dla wymienionych powyżej przedziałów obliczany jest analogicznie, jak we wzorze (5). Zmianie podlegają granice całkowania oraz czynnik  $n$  wynikający z kroku pomiarowego przy pomiarze wartości transmisji widmowej.

Na podstawie wartości transmisji aktywnych materiałów włókienniczych obliczane są wskaźniki barierowości ( $W$ ) dla wybranych zakresów promieniowania, odpowiednio ze wzorów:

$$W_{(190-240)} = 1/ T_{A(180-240)} \quad (6)$$

$$W_{(240-300)} = 1/ T_{A(240-300)} \quad (7)$$

$$W_{(300-400)} = 1/ T_{A(300-400)} \quad (8)$$

$$W_{(200-400)} = 1/ T_{A(200-400)} \quad (9)$$

Wskaźniki te mogą określać krotności obniżenia wartości NDN dla napromienienia sztucznym promieniowaniem UV, odniesioną do 8-godzinnego dnia pracy, dla poszczególnych zakresów promieniowania, z uwzględnieniem względnej aktywności skuteczności widmowej szkodliwego oddziaływania nadfioletu na oczy i skórę.

## 5. DOBÓR MATERIAŁÓW NA ODZIEŻ OCHRONNĄ Z WYKORZYSTANIEM OPRACOWANYCH WSKAŹNIKÓW BARIEROWOŚCI

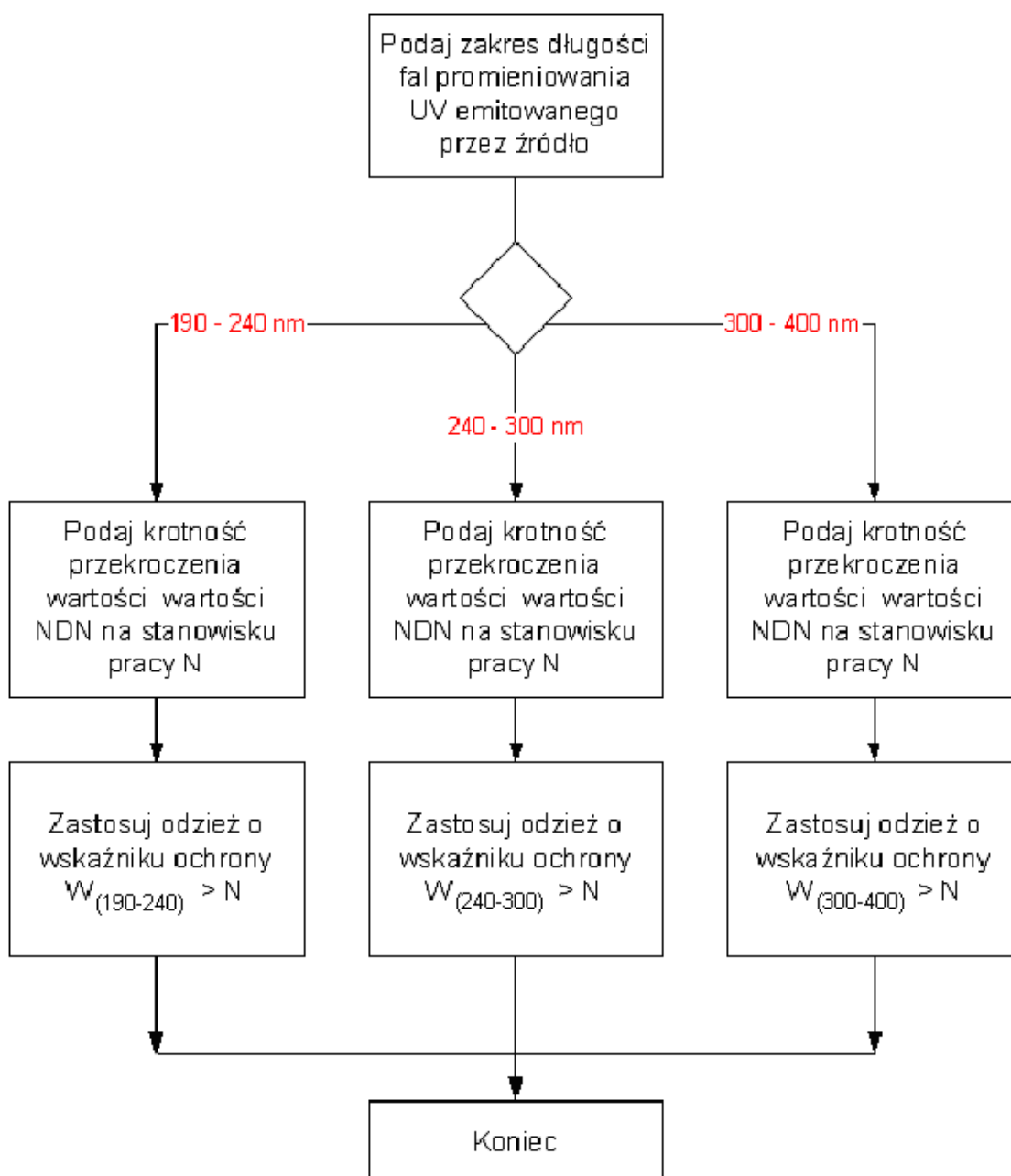
---

W celu dokonania doboru odzieży ochronnej wykonanej z materiału włókienniczego charakteryzującego się odpowiednim wskaźnikiem barierowości ( $W$ ) należy:

- określić zakres długości fal promieniowania emitowanego przez dane źródło UV;
- określić średnie natężenie napromienienia promieniowania UV na stanowisku pracy oraz czas ekspozycji pracownika w ciągu zmiany roboczej,
- określić krotność przekroczenia wartości NDN na stanowisku pracy,

- z wykazu dostępnych wzorów odzieży chroniącej przed UV wybrać model charakteryzujący się wskaźnikiem barierowości  $W_{(190-240)}$ ;  $W_{(240-300)}$ ;  $W_{(300-400)}$ ;  $W_{(200-400)}$  dla danego typu źródła (lub dla źródła o zbliżonym zakresie i rozkładzie widmowym) większym od krotności (N) przekroczenia NDN.

Opisane powyżej czynności przedstawiono schematycznie na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat postępowania podczas doboru odzieży do ochrony przed sztucznym promieniowaniem nadfioletowym [7]

Dobór materiałów barierowych przeznaczonych na odzież ochronną przeprowadzony z wykorzystaniem zaproponowanych wskaźników można zilustrować następującym przykładem. Jeśli np. krotność przekroczenia napromienienia aktywnego, dla promieniowania z zakresu od 240 do 300 nm, [wyrażona wzorem (10)] wyniesie  $N = 100$ , to minimalny wskaźnik barierowości  $W_{(240-300)}$  materiału włókienniczego na ubranie ochronne pracownika musi, dla omawianego przykładu, wynosić co najmniej 100, aby w ciągu 8 godzin ekspozycji nie przekroczona została wartość NDN dla skóry.

$$N = \frac{H_{skóra} \left[ \frac{J}{m^2} \right]}{30 \left[ \frac{J}{m^2} \right]}, \quad (10)$$

gdzie:

$H_{skóra}$  – napromienienie aktywność w ciągu ośmiogodzinnej ekspozycji;  
30 J/m<sup>2</sup> – wartość NDN.

## 5. PODSUMOWANIE

---

Zaproponowany nowy wskaźnik barierowości  $W$  został zdefiniowany z przeznaczeniem do oceny właściwości materiałów włókienniczych stosowanych w konstrukcji rękawic i odzieży ochronnej stosowanej na stanowiskach pracy, na których występuje zagrożenie sztucznym promieniowaniem nadfioletowym. Jest on miarą krotności obniżenia wartości NDN dla napromienienia promieniowaniem UV, odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy, dla różnych zakresów promieniowania UV (charakterystycznych dla danego źródła), z uwzględnieniem krzywej skuteczności aktywności. Badania wskaźnika  $W$  dla próbek materiałów włókienniczych przed i po modyfikacji absorberami UV potwierdzają zróżnicowanie wartości wskaźnika w zależności od wybranego zakresu promieniowania nadfioletowego.

## LITERATURA

1. Bartkowiak G., Wolska A., Owczarek G.: Środki ochrony indywidualnej do ochrony pracowników przed zagrożeniami wywołanymi naturalnym UV, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 244, 2011, str. 149-159.
2. Bezpieczeństwo i higiena pracy pod redakcją D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008.
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).
4. Dyrektywa 89/391/EWG Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie wprowadzenia środków w celu poprawy bezpieczeństwa i zdrowia pracowników w miejscu pracy.
5. Handbook of Occupational Safety and Health pod redakcją D. Koradeckiej, CRC Press, Taylor and Francis, 2009.
6. Katalog źródeł promieniowania optycznego firmy Philips.
7. Owczarek G., Wolska A., Bartkowiak G.: Ocena skuteczności oraz dobór materiałów barierowych używanych do produkcji odzieży chroniącej przed promieniowaniem nadfioletowym, Bezpieczeństwo Pracy, nr 9, 2010, str. 18-21.
8. PN-EN 13758-1+A1:2007 Tekstylnia – Właściwości ochronne przed działaniem promieniowania UV – Część 1: Metoda badania płaskich wyrobów włókienniczych.
9. PN-EN 170:2005 Ochrona indywidualna oczu – Filtry chroniące przed nadfioletem – Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.
10. PN-EN 171:2005 Ochrona indywidualna oczu – Filtry chroniące przed podczerwienią – Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.
11. PN-EN 1836 PN-EN 1836+A1:2009 Ochrona indywidualna oczu – Okulary i filtry chroniące przed oślnieniem słonecznym do zastosowań ogólnych i filtry do bezpośredniej obserwacji słońca.
12. Sprawozdanie z realizacji zadania „Monitorowanie ekspozycji na naturalne promieniowanie nadfioletowe u pracowników zatrudnionych na zewnętrznych stanowiskach pracy” (4.S.10), CIOP-PIB, Warszawa 2010.
13. Sprawozdanie z zadania badawczego nr 2 w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.03.01-10-006/08, maszynopis, CIOP-PIB, Warszawa, 2009.
14. Vecchia P., Hietanen M., Stuck B.E., van Deventer E, Niu S.: Protecting workers from ultraviolet radiation, ICNIRP in collaboration with ILO, WHO, 14/2007.
15. Wiśniewski T., Wiśniewski S.: Wymiana ciepła, WNT, Warszawa 2000.
16. Wykresy przygotowano na podstawie zebranych wartości zaprezentowanych rozkładów widmowych (źródło: EN 1836:2005 i PN-EN 13758-1+A1:2007).
17. Wykresy przygotowano na podstawie zebranych wartości zaprezentowanych rozkładów widmowych (źródło: Dyrektywa 2006/25/WE i PN-EN 13758-1+A1:2007).

NEW METHODS TO ACCESS BARRIER PROPERTIES  
OF TEXTILE MATERIALS FOR CLOTHES  
AGAINST HARMFUL ARTIFICIAL UV RADIATION

Grzegorz OWCZAREK, Grażyna BARTKOWIAK  
Agnieszka WOLSKA, Grzegorz GRALEWICZ

**ABSTRACT** *Some amounts of ultraviolet radiation are beneficial for humans but excessive exposure can cause many negative health effects to the skin and eyes and also can affect the immune system. Exposed area of skin should be covered by working or protective clothes with low UVR transmission. It concerns both exposure to natural UV or prolonged exposure to artificial UV. Currently, there are no clear criteria to assess textile clothing for workers exposed to artificial UV radiation. Ultraviolet protection factor (UPF) is adequate for effectiveness protection against solar radiation but does not take into consideration UV range from 190 to 290 nm which is characteristic for some types of artificial sources.*

**Keywords:** *personal protective equipment, UV radiation, workplace hazards*



POIG.01.03.01-00-006/08-00

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków  
Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

**Dr inż. Grzegorz OWZAREK** – absolwent Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Obecnie pracownik CIOP-PIB – Kierownik Pracowni Ochron Oczu i Twarzy.



**Dr inż. Grażyna BARTKOWIAK** – Kierownik Pracowni Odzieży Ochronnej w CIOP-PIB. Jest doświadczonym ekspertem w zakresie odzieży ochronnej.

**Dr inż. Agnieszka WOLSKA** – kierownik Pracowni Promieniowania Optycznego w CIOP-PIB. Jest doświadczonym ekspertem w zakresie oświetlenia, ergonomii widzenia i promieniowania optycznego.



**Dr inż. Grzegorz GRALEWICZ** – absolwent Wydziału Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej, od 2003 r. pracuje w CIOP-PIB. W 2009 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska.

