

Stanisław MARZEC  
Marcin ŁACIAK

# NARAŻENIE NA SŁONECZNE PROMIENIOWANIE NADFIOLETOWE W ZALEŻNOŚCI OD INDEKSU UV

**STRESZCZENIE** *W referacie przeanalizowano ekspozycję osób na naturalne promieniowanie UV podczas przebywania na zewnątrz pomieszczenia podczas bezchmurnego dnia. Analizę oparto na danych pomiarowych całodziennych rzeczywistych wartości indeksu UV, otrzymanych w latach 2006-2008 przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Na podstawie znajomości odchylenia standardowego, indeksu UV i jego wartości maksymalnej ( $I_{max}$ ) w danym dniu wyznaczono narażenie osób na promieniowanie nadfioletowe, jakie wystąpi podczas przebywania na terenie otwartym w określonej porze dnia.*

**Słowa kluczowe:** *indeks UV, promieniowanie nadfioletowe, nadfiolet słoneczny, naturalne promieniowanie UV*

## 1. WSTĘP

---

Nadmiar UV prowadzi do przedwczesnego starzenia się skóry, powstania zmian przednowotworowych i nowotworowych w skórze, stanów zapalnych rogówki i spojówki oka, zmętnienia soczewki oraz upośledzenia funkcjonowania

---

**dr Stanisław MARZEC, mgr Marcin ŁACIAK**  
e-mail: smarzec@imp.sosnowiec.pl

Instytut Medycyny Pracy  
i Zdrowia Środowiskowego

układu immunologicznego. Najbardziej aktywne w tym zakresie są fale krótsze od 320 nm [5]. Najczęściej dochodzi do narażenia ludności na naturalne czyli słoneczne promieniowanie nadfioletowe (UV). Również wykonywanie szeregu czynności zawodowych wiąże się z koniecznością przebywania pracowników na zewnątrz pomieszczeń i narażenia ich na naturalne promieniowanie słoneczne [6].

W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie tym czynnikiem, co spowodowane jest bardzo dużym wzrostem zachorowalności na czerniaka, a także spadkiem stężenia ozonu stratosferycznego, który implikuje wzrost natężenia UV docierającego do powierzchni ziemi. Z uwagi na wagę zagadnienia, Konwencja Narodów Zjednoczonych z 1985 roku oraz Protokół Montrealski z 1987 roku obliguje wszystkie kraje, w tym Polskę, do prowadzenia pomiarów natężenia promieniowania UV przy powierzchni ziemi. W związku z tym powstaje coraz większa liczba stacji pomiarowych, monitorujących wielkość natężenia słonecznego promieniowania UV na powierzchni ziemi. Pomiary te wykonuje się miernikiem o charakterystyce widmowej odpowiadającej skuteczności tworzenia rumienia [2, 4], zwykle według krzywej ustalonej przez CIE w 1987 roku [4].

Stopień narażenia ludności na naturalne promieniowanie UV określa się wielkością dawki otrzymaną w ciągu całego dnia, wyrażoną w MED lub w  $J/m^2$ , natomiast dotychczas nie ustalono zasad określania narażenia pracowników na ten czynnik.

W celu łatwiejszego przedstawienia ogółowi mieszkańców wielkości naturalnego promieniowania UV, podaje się tzw. indeks UV (UVI lub  $I_{uv}$ ), zdefiniowany jako iloczyn efektywnego natężenia napromienienia w  $W/m^2$ , wyznaczonego według krzywej rumieniowej CIE, pomnożonego przez 40 [2]. W Polsce wartości indeksu UV są monitorowane w wybranych miejscowościach i podawane do ogólnej wiadomości przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

## 2. MATERIAŁ I METODA

---

Dane pomiarowe wykorzystane w obliczeniach pochodziły z Państwowego Monitoringu Środowiska i finansowane były przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Udostępnione zostały przez Ośrodek Aerologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Legionowie.

Punkt pomiarowy znajdował się w Katowicach na wysokości 281 m n.p.m. o współrzędnych geograficznych  $50^{\circ}14'$  szerokości geograficznej północnej i  $19^{\circ}02'$  długości geograficznej wschodniej. Dane te dotyczą rzeczywistych,

całodziennych przebiegów wartości indeksu UV w okresie od 11 lipca 2006 do 31 grudnia 2008 roku.

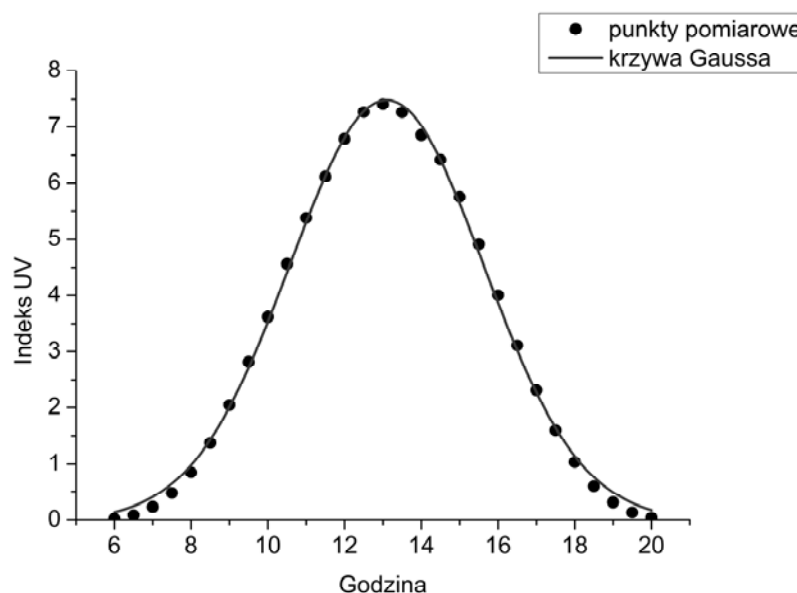
Przykładowe wartości indeksu UV dla bezchmurnego dnia przedstawia rysunek 1. Zależność indeksu UV od pory dnia w takich dniach można opisać krzywą gaussowską, z maksimum przypadającym w południe czasu słonecznego

$$I = \frac{S}{2\sigma\sqrt{\pi/2}} \exp\left\{-2\left(\frac{t-t_m}{2\sigma}\right)^2\right\} \quad (1)$$

gdzie:

- $I$  – indeks UV,
- $S$  – pole pod krzywą,
- $\sigma$  – odchylenie standardowe indeksu,
- $t$  – godzina w ciągu dnia,
- $t_m$  – godzina, w której indeks UV przyjmuje wartość maksymalną.

Dopasowanie wyżej opisanej krzywej gaussowskiej do punktów pomiarowych wynosi 0,9979.



**Rys. 1. Przykładowe wartości indeksu UV dla bezchmurnego dnia z dopasowaną krzywą Gaussa**

Dawkę promieniowania, jaką można otrzymać podczas przebywania na terenie otwartym, określa pole powierzchni pod krzywą utworzoną przez zmiany indeksu w ciągu dnia. Znajomość takich parametrów jak odchylenie standar-

dowe indeksu, jego wartość maksymalna ( $I_{max}$ ) oraz pora dnia, w której ta wartość występuje, pozwala określić dzienne oraz chwilowe narażenie na promieniowanie nadfioletowe.

Analizę narażenia przeprowadzono dla dni bezchmurnych, w których zmiany natężenia promieniowania UV reprezentowane były krzywą gaussowską. W pierwszym kroku wyliczono dawki całodzienne naturalnego promieniowania nadfioletowego (pole pod krzywą gaussowską) i zestawiono je z indeksem UV. Uzyskane wyniki pozwoliły na połączenie dawki UV ( $D$ ) z wartością maksymalną indeksu ( $I_{max}$ ), co umożliwiło określenie matematycznej zależności między dawką słonecznego promieniowania nadfioletowego, a maksymalną wartością indeksu UV. Następnie obliczono dawki UV dla poszczególnych godzin przebywania na zewnątrz pomieszczeń w ciągu dnia i wyznaczono związek między otrzymaną dawką, a maksymalnym indeksem UV dla określonych godzin dnia.

### 3. WYNIKI

---

Otrzymane zależności między dawką promieniowania nadfioletowego a maksymalną wartością indeksu UV dla określonych godzin narażenia na promieniowanie słoneczne w bezchmurny dzień przedstawiono na rysunku 2.

W przypadku narażenia w godzinach 8 – 16 zależność między otrzymaną dawką, a indeksem UV opisuje równanie

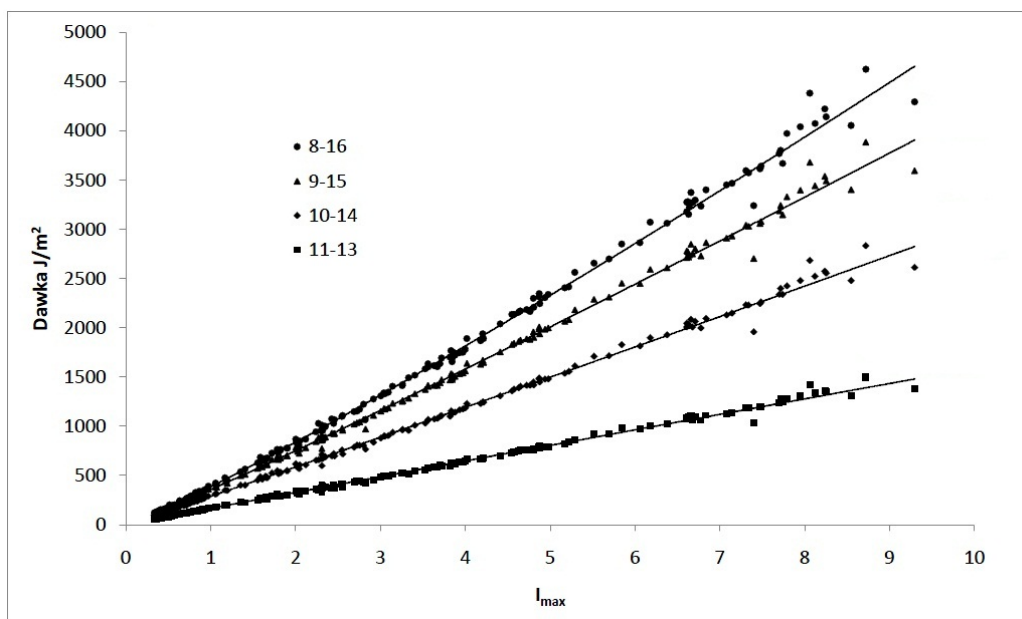
$$D = 358,703 \cdot I_{max}^{1,117} \quad (2)$$

Laperre i Gambichler [1] podali powyższą zależność w postaci uproszczonej

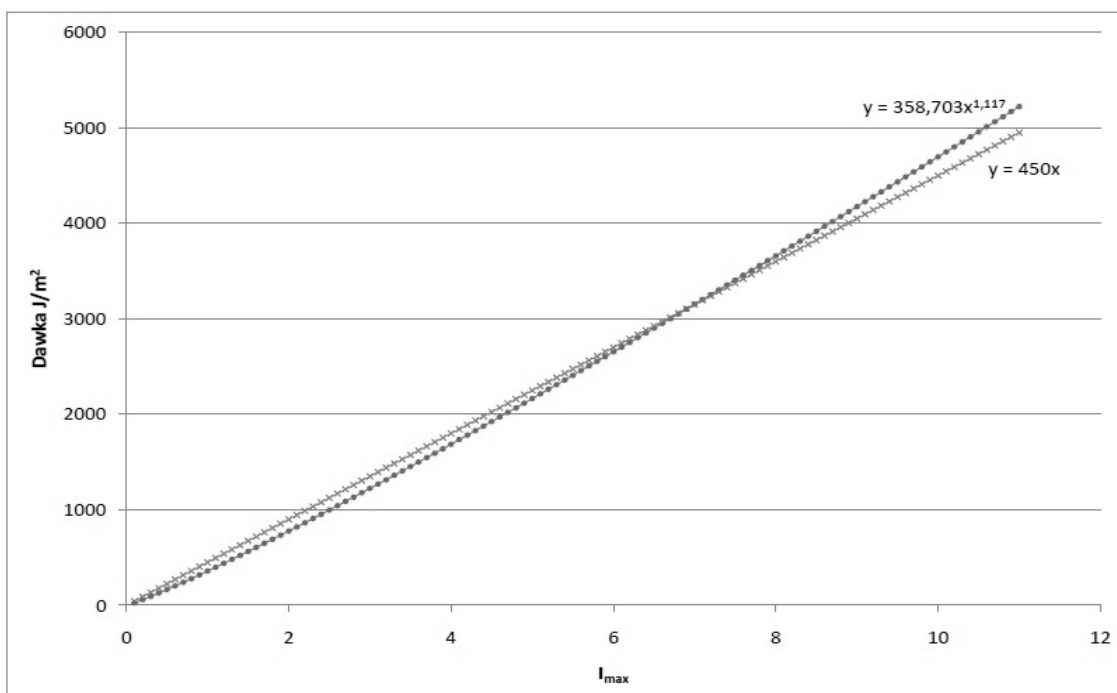
$$D = 450 \cdot I_{max} \quad (3)$$

Dawki wyznaczone według obydwu zależności dla różnych wartości indeksu UV przedstawiono na rysunku 3.

Jak wynika z rysunku 3, różnice między dawkami wyznaczonymi według zależności dokładnej i uproszczonej są niewielkie, istotne jedynie dla dużych wartości indeksu UV, powyżej 11, w Polsce spotykanych sporadycznie. Można więc z wystarczającą dokładnością dla praktycznej oceny narażenia, posługiwać się uproszczonymi wzorami na obliczanie dozy promieniowania UV. W tabeli 1 podano dokładne i uproszczone zależności między otrzymaną w bezchmurny dzień dawką promieniowania nadfioletowego, a maksymalną wartością indeksu UV.



Rys. 2. Zależność pomiędzy napromienieniem UV otrzymanym w określonych godzinach dnia a indeksem UV



Rys. 3. Porównanie dokładnych (•) i uproszczonych (+) wartości dawek promieniowania UV dla okresu przebywania na zewnątrz pomieszczenia w godzinach 8 – 16

**TABELA 1**

Zestawienie zależności dokładnych i uproszczonych między napromienieniem UV w bezchmurny dzień a indeksem UV dla różnych okresów narażenia

Godziny przebywania na zewnątrz pomieszczeń	Otrzymane napromienienie UV (w J/m <sup>2</sup> )	
	zależność dokładna	zależność uproszczona
cała doba	$D = 400,63 \cdot I_{\max}^{1,1689}$	$D = 550 \cdot I_{\max}$
8 – 16	$D = 358,703 \cdot I_{\max}^{1,117}$	$D = 450 \cdot I_{\max}$
9 – 15	$D = 356,348 \cdot I_{\max}^{1,074}$	$D = 410 \cdot I_{\max}$
10 – 14	$D = 288,260 \cdot I_{\max}^{1,023}$	$D = 300 \cdot I_{\max}$
11 – 13	$D = 165,638 \cdot I_{\max}^{0,982}$	$D = 160 \cdot I_{\max}$

Posługując się powyższą tabelą można w prosty sposób obliczyć dawkę, jaką mogą otrzymać osoby (ludność lub pracownicy) przebywający w określonych godzinach na zewnątrz pomieszczenia w bezchmurny dzień, znając wartość maksymalną indeksu UV w danym dniu.

W tabeli 2 podano przykładowe wartości dawki promieniowania UV wyliczone dla różnej pory dnia, gdy maksymalny indeks UV w tym dniu wynosi 5 oraz 7 (często występujące wartości indeksu podczas bezchmurnych dni w okresie letnim odpowiednio na północy i na południu Polski [2, 3]).

**TABELA 2**

Zestawienie dawek otrzymanych w bezchmurny dzień dla indeksu UV równego 5 oraz 7 w różnych porach dnia

Godziny przebywania na zewnątrz	Dawka D [J/m <sup>2</sup> ]	
	$I_{\max} = 5$	$I_{\max} = 7$
Całodzienna	2629	3896
8 – 16	2165	3153
9 – 15	2118	2881
10 – 14	1346	2110
11 – 13	805	1120

Z danych zawartych w tabeli 2 wynika, że około 30% dziennego napromienienia otrzymuje się podczas narażenia na promieniowanie słoneczne w godzinach 11-13, a ponad 50% – w godzinach 10-14. Przed godziną 9 i po godzinie 15 otrzymuje się łącznie 26% dawki dziennej słonecznego nadfioletu, gdy maksymalny indeks UV wynosi 7, a jedynie 19% dziennej dawki UV, gdy  $I_{\max} = 5$ . Oznacza to, że najbardziej należy unikać narażenia na bezpośrednie promieniowanie słoneczne dwie godziny przed południem i dwie godziny po południu czasu słonecznego.

Przyjmując, że dopuszczalna dawka promieniowania UV (MED) w ciągu dnia wynosi 200–450 J/m<sup>2</sup>, w zależności od typu skóry [2], można dla określonej pory dnia określić wymagany stopień ochrony kremów lub odzieży. Przyjmując, że dopuszczalne napromienienie skóry typu II, typowej dla ludności Polski, wynosi 300 J/m<sup>2</sup> i dzieląc wcześniej otrzymane dawki przez tę wartość, otrzymujemy wymagany współczynnik ochronny. Tak wyliczone przykładowe współczynniki ochronne kremów lub odzieży (UPF lub SPF), dla różnych okresów przebywania na zewnątrz pomieszczeń, przedstawia tabela 3.

**TABELA 3**

Wymagany stopień zmniejszenia promieniowania nadfioletowego przez ochrony osobiste, w zależności od okresu przebywania na zewnątrz pomieszczenia, dla skóry typu II oraz maksymalnych indeksów UV równych 5 i 7

Godziny przebywania na zewnątrz	Wymagana wartość SPF lub UPF	
	$I_{\max} = 5$	$I_{\max} = 7$
całodzienna	9	13
8 – 16	7,5	10,5
9 – 15	7	10
10 – 14	4,5	7
11 – 13	3	4

Z tabeli 3 wynika, że do ochrony przed nadmiernym narażeniem na naturalne promieniowanie nadfioletowe w Polsce w okresie letnim wystarczające jest stosowanie ochron zmniejszających promieniowanie UV około 10-15 razy, w zależności od okresu narażenia, rodzaju skóry i wartości indeksu UV. Są to wartości ponad dwukrotnie mniejsze od zalecanych przez IMiGW [2].

## 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza umożliwia wyznaczenie wielkości narażenia ludności lub pracowników, na naturalne promieniowanie nadfioletowe, na podstawie znajomości czasu ich ekspozycji na promieniowanie słoneczne i maksymalnego indeksu UV w danym dniu. Znajomość wielkości narażenia pozwoli na dobór właściwych środków ochronnych o odpowiednich zdolnościach ograniczania promieniowania UV.

Znając maksymalny indeks UV w danym dniu można również wyznaczyć, na podstawie podanych wyżej zależności, dozwolony czas narażenia osób na promieniowanie słoneczne w określonej porze dnia.

*Autorzy dziękują Panu mgr inż. Grzegorzowi Zabłockiemu, Kierownikowi Ośrodka Aerologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Legionowie, za udostępnienie wyników pomiarów naturalnego promieniowania UV.*

## LITERATURA

1. Laperre J., Gambichler T.: Sun protection offered by fabrics: on the relation between effective doses based on different action spectra Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine 19 (1), 11–16, 2003.
2. Lityńska Z., Łapeta B., Wolska H.: Indeks UV a człowiek. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 2001.
3. Marzec S., Nowicka J.: Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na poziom narażenia ludności województwa śląskiego na naturalne promieniowanie nadfioletowe. Prace Instytutu Elektrotechniki 237 (LV), 149-157, 2008.
4. McKinlay A.F., Diffey B.L.: A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Research Note. CIE - Journal 6, 1, 17- 22, 1987.
5. Promieniowanie nadfioletowe. Kryteria zdrowotne środowiska t. 160, IMP Łódź 1997.
6. Wolska A., Gałęcki Ł.: Narażenie zawodowe na naturalne promieniowanie nadfioletowe w Polsce - ocena szacunkowa. Bezpieczeństwo Pracy 1 (460), 14-17, 2010.

*Rękopis dostarczono, dnia 26.03.2010 r.*

**Opiniował: prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński**

EXPOSURE TO SOLAR UV  
RADIATION IN DEPENDENCE  
ON UV INDEX

Stanisław MARZEC, Marcin ŁACIAK

**ABSTRACT** *The paper contains an analysis of human exposure to natural UV radiation outdoor, during a clear-sky day. The analysis is based on measurement data of all-day UV Index real values, received in years 2006-2008 by the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW). Basing on the index standard deviation and its maximum value ( $I_{max}$ ) for a given day, the open-air exposure for a certain day hour was evaluated.*