

Jednostki Promieniowania Ultrafioletowego UV, czas naświetlania $T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV})$ oraz dawki naświetlania $D = f(\text{UV})$

Autor: Zygmunt Bock, 2024r.

1. Jednostki promieniowania UV oraz index UVI

Według artykułu [Jakubowska], naturalne promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe), określane akronimem UV, jest niewidzialną i niewielką częścią całkowitego promieniowania słonecznego. Przed jego bezpośrednim działaniem chroni nas ozonosfera – warstwa zwiększonej koncentracji ozonu w stratosferze. Pochłania ona całkowicie pasmo promieniowania ultrafioletowego UV-C oraz w dużej mierze pasmo UV-B. W rezultacie do powierzchni Ziemi dociera głównie pasmo UV-A, stanowiące około 97 proc. całkowitego promieniowania UV. Ta niewielka ilość promieniowania słonecznego ma jednak ogromne znaczenie dla funkcjonowania życia na naszej planecie, a od stanu warstwy ozonowej uzależnione jest ludzkie zdrowie.

Promieniowanie ultrafioletowe stanowiące niewielką część promieniowania słonecznego dzielone jest na 3 pasma: UV-C, UV-B i UV-A. Całość promieniowania UV-C oraz znaczna część promieniowania UV-B jest pochłaniana w atmosferze przez ozon, parę wodną, tlen i dwutlenek węgla.

Ozon jest głównym pochłaniaczem promieniowania UV-B, zmniejszenie jego warstwy w atmosferze zwiększa ilość UV-B docierającego do powierzchni Ziemi. Promieniowanie UV-A jest minimalnie pochłaniane w atmosferze. W związku z tym promieniowanie UV docierające do człowieka na Ziemi składa się głównie z UV-A i UV-B.

Dla pomiaru ilości biologicznie efektywnego słonecznego promieniowania ultrafioletowego w różnych miejscach na powierzchni Ziemi, jak napisano w artykule [Globalny], został opracowany, jako łatwy do zrozumienia, Globalny Wskaźnik UVI. Globalny wskaźnik UVI, to prosty wskaźnik liczbowy maksymalnego promieniowania

ultrafioletowego (UV) docierającego do powierzchni ziemi w ciągu dnia. Został opracowany wspólnie przez:

- Światową Organizację Zdrowia (World Health Organization-WHO)
- Program Narodów Zjednoczonych ds. Ochrony Środowiska,
- Światową Organizację Meteorologiczną,
- International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Definicja Globalnego Wskaźnika UVI

Globalny wskaźnik UV, który można zmierzyć lub obliczyć, jak napisano w artykułach [Globalny], [Gies], to ustandaryzowany sposób przedstawiania ilości promieniowania UV docierającego do Ziemi w określonym czasie i miejscu. Wskaźnik UVI został opracowany na podstawie Międzynarodowej Komisji ds. Oświetlenia (CIE), jako referencyjne widmo działania dla rumienia wywołanego promieniowaniem UV na ludzkiej skórze (ISO 17166:1999/CIES 007/E-1998). UVI jest to miara promieniowania UV, która jest istotna i zdefiniowana dla poziomu powierzchni. UVI jest wielkością bezwymiarową. Równanie do obliczenia wskaźnika UVI, który podaje WHO, jest następujące:

$$I_{UV} = k_{er} \cdot \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

gdzie:

- I_{UV} - to wskaźnik UVI, zmierzony lub obliczony;
- E_{λ} - oznacza intensywność widmową Słońca w $[W/(m^2 \cdot nm^1)]$, zmierzoną lub obliczoną przy długości fali λ ;
- $S_{er}(\lambda)$ - oznacza skuteczność rumieniową, przy długości fali λ ;
- k_{er} - jest stałą równą $40 \text{ m}^2/W$.

Określenie UVI może zostać wykonane przez: 1. pomiary, 2. obliczenia modelowe. Mogą być zastosowane dwa podejścia pomiarowe:

- w przypadku pomiarów - należy użyć spektrometri i obliczyć UVI, korzystając z powyższego wzoru.
- w przypadku obliczeń modelowych - należy użyć detektora szerokopasmowego, który został odpowiednio zaprogramowany i skalibrowany, podający UVI bezpośrednio.

Indeks UVI można obliczyć albo przy użyciu modeli komputerowych, uwzględniających takie czynniki, jak ozon i wielkość zachmurzenia, które wpływają na codzienne promieniowanie UV Słońca, albo na podstawie pomiarów. Promieniowanie UV jest ważne na podstawie reakcji ludzkiej skóry na oparzenia słoneczne (zakres długości fal od 280 do 400 nm).

Przewidywanie promieniowania słonecznego UVI uzyskuje się poprzez transfer modelu radiacyjnego, wymagający wprowadzenia całkowitego ozonu oraz właściwości optyczne aerozolu. Model regresji jest użyty do prognozowania całkowitego ozonu, przy wykorzystaniu danych wejściowych z naziemnych źródeł spektrometrów ozonu lub z satelitów. Dobre parametryzacje chmury są również wymagane, chyba że wymagane są tylko raportowane wartości bezchmurnego nieba.

Prognozy dotyczące wskaźnika UV są nadawane w wielu krajach w celu informowania opinii publicznej z wyprzedzeniem, aby można było zarządzać ryzykiem wynikającym z narażenia na promieniowanie UVR. Najczęściej prognozy UVI są tworzone poprzez modelowanie natężenia promieniowania UV, z uwzględnieniem odpowiednich parametrów atmosferycznych (ozon całkowity, właściwości optyczne aerozolu i zachmurzenie). Stosowane modele predykcyjne (czyli przewidujące w analizie statystycznej, przyszłych cech statystycznych zjawisk losowych) różnią się pod względem złożoności i dokładności, ale wszystkie opierają się na dobrej znajomości rzeczywistych parametrów atmosferycznych, której często brakuje.

Wykorzystując skuteczność rumieniową, indeks UVI uwzględnia biologiczne skutki padającego ultrafioletowego promieniowania słonecznego, w celu określenia potencjalnego zagrożenia dla skóry osób narażonych na działanie Słońca. Bezpośrednie pomiary indeksu UVI przy użyciu spektrometrów lub detektorów szerokopasmowych można wykorzystać do wsparcia i oceny modeli predykcyjnych. Na całym świecie, wiele instytucji mierzy wskaźnik UV za pomocą szerokiej gamy systemów pomiarowych. Czułość tych instrumentów jest wysoka w obszarze UVB, podobnie jak widmo działania rumienia, dlatego ich pomiary można przeliczyć na jednostki natężenia promieniowania rumieniowego. Dostępne instrumenty do pomiaru UVI różnią się niezawodnością, dokładnością i opłacalnością, dlatego wymagana jest kalibracja i kontrola jakości.

Ponieważ wskaźnik UV opiera się na referencyjnym spektrum działania rumienia wywołanego promieniowaniem UV na ludzkiej skórze, jego główna rola polega na przewidywaniu uszkodzeń skóry, a mniej bezpośrednio pozwala na przewidywanie wpływu

promieniowania UV na oczy lub układ odpornościowy. Indywidualne ryzyko dla zdrowia spowodowane promieniowaniem UV przy dowolnej wartości w skali UVI zależy od czynników osobistych, w tym czasu trwania ekspozycji, rodzaju skóry, wieku, dziedziczenia genetycznego i stosowania środków ochronnych.

Jak wcześniej opisano, indeks UVI opisuje poziom słonecznego promieniowania UV na powierzchni Ziemi. Według artykułu [Biszczyk], indeks UVI jest zdefiniowany jako efektywne natężenie promieniowania UV, otrzymane w wyniku całkowania natężenia promieniowania UV, pomnożonego przez parametr wagowy erytemelnej funkcji skuteczności widmowej do 400 nm, znormalizowane do 1 dla 297 nm.

Do ilościowego określenia promieniowania ultrafioletowego stosuje się różne wielkości i jednostki, w tym natężenie napromieniowania ultrafioletowego, wyrażone w $[W/m^2]$. W programach powszechnej informacji o potencjalnie szkodliwym działaniu na zdrowie nadmiernej ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe oraz ostrzegania ludzi o konieczności stosowania środków ochronnych, jak również w celu pomiarów promieniowania ultrafioletowego docierającego do człowieka, ustanowiono jednostkę miary promieniowania tzw. indeks UV lub UVI, dotycząca jego oddziaływania na skórę człowieka i wywołująca jej rumień. *UVIndex* jest wielkością bezwymiarową o wartościach całkowitych w zakresie od 0 do 16, przy czym już przy wartości 3 lub większej zalecana jest ochrona przed UV. *UVIndex* jest określony na podstawie skutku działania promieniowania na skórę człowieka, w postaci rumienia.

Według artykułu autorstwa [Skórska], na podstawie równania (1) do obliczenia wskaźnika UVI, *UVIndex* wyrażony jest iloczynem, uśrednionego w czasie efektywnego biologicznie natężenia napromieniowania N_{Prom} $[W/m^2]$ oraz współczynnika $k_{er} = 40 m^2/W$.

$$UVIndex = k_{er} \times N_{Prom} \quad (2)$$

gdzie:

- N_{Prom} - natężenie promieniowania UV, zmierzone lub obliczone
- $k_{er} = 40 m^2/W$

Przykłady:

1. Jaki *UVIndex*, odpowiada natężeniu promieniowania UV o wartości $N_{Prom} = 1 W/m^2$

Odp.: $UVIndex = WSP \times N_{Prom} = 40m^2/W \times 1W/m^2 = 40 UVI$

2. Jaki $UVIndex$, odpowiada natężeniu promieniowania UV o wartości $N_{Prom} = 0,1 W/m^2$

Odp.: $UVIndex = WSP \times N_{Prom} = 40 m^2/W \times 0,1W/m^2 = 4 UVI$

3. Jakie natężenia promieniowania N_{Prom} odpowiada indeksowi $UVI = 1$?

Odp.: $N_{Prom} = UVIndex / WSP = 1 / 40 [m^2/W] = 0,025 W/m^2$

$UVIndex$ jest wielkością bezwymiarową o wartościach całkowitych w zakresie od 0 do 16, przy czym już przy wartości 3 lub większej zalecana jest ochrona przed UV. $UVIndex$ jest określony na podstawie skutku działania promieniowania na skórę człowieka, w postaci rumienia. $UVIndex$, to międzynarodowy standard służący do określania pomiaru promieniowania ultrafioletowego (UV), które emituje Słońce danego dnia w określonym miejscu. Do obliczania indeksu UV wykorzystywany jest model komputerowy odnoszący natężenie promieniowania nadfioletowego do:

- wysokości nad poziomem morza,
- ilości chmur,
- poziomu ozonu, który wynika z grubości jego warstwy, oraz kąta nachylenia słońca.

Wartość UVI jest zależna m.in. od: (1) pory roku, (2) wysokości nad poziomem morza, (3) stopnia zacienienia, (4) pory dnia, (5) szerokości geograficznej.

Jak pisze autor artykułu [Biszczyk], zakres wartości Indeksu UVI rozciąga się od zera wzwyż, co pokazano w poniższej tabeli. Im wyższa wartość UVI, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia rumienia i poparzeń skóry i tym szybszy czas ich pojawienia się.

Poziom, zakres i kolor oznaczenia Indeksu UVI

Niski	2 i mniej	Zielony
Umiarkowany	3-5	Żółty
Wysoki	6-7	Pomarańczowy
Bardzo wysoki	8-10	Czerwony
Ekstremalny	11 i więcej (do 16)	Fioletowy

Tab. 1. Zakresy natężenia promieniowania UV w jednostkach indeksu UVI.

Według artykułu [Global], wartości indeksu UVI od 0 do 2 uważane są za niskie i w systemach powszechnego informowania społeczeństwa oznaczane kolorem zielonym, od 3 do 5 – średnie (żółty), 6–7 – wysokie (pomarańczowy), 8 do 10 – bardzo wysokie (czerwony), a od 11 – ekstremalnie wysokie (fioletowy).



Indeks UVI, o wysokości od 6 do 7 stwarza wysokie i bardzo wysokie zagrożenie podczas dłuższego przebywania na słońcu. Warto ograniczyć czas przebywania na słońcu w godzinach 11-16. W Polsce w okresie letnim, w godzinach okołopołudniowych oraz w bezpośrednim słońcu, promieniowanie ultrafioletowe przyjmuje wartości wysokiego (6-7) i bardzo wysokiego (8-10) UVI. W okresie jesienno-zimowym UVI ma niski poziom. Największe wartości UVI rejestrowane są w obszarze równikowym, co pokazano na poniższym rysunku.



Coraz powszechniej dostępne są w sprzedaży osobiste mierniki indeksu UV, a także aplikacje na smartfony, informujące o wartości indeksu UVI, na podstawie opracowanych prognoz ze światowych baz danych. Jako przykład, poniżej podano opis przyrządu do pomiaru UVI.

Radiometr UV INDEX LP UVI 02, który pokazano na poniższym rysunku, to radiometr dedykowany do pomiaru natężenie promieniowania na płaską powierzchnię [W/m^2], zgodnie z wymaganiami WHO dla pomiaru indeksu UV.



Globalne natężenie promieniowania słonecznego jest sumą promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. W zakresie ultrafioletu, w przeciwieństwie do światła widzialnego, gdzie przeważa promieniowanie bezpośrednie, promieniowanie rozproszone jest głównym jego składnikiem, światło jest silnie rozproszone w atmosferze, radiometr mierzy oba składniki promieniowań. Radiometr LP UVI 02 produkowany jest w kilku wersjach różniących się sygnałem wyjściowym:

- LP UVI 02 AC z wbudowanym przetwornikiem ($4 \div 20mA$) o zakresie pomiarowym: $0 \div 16$ UV - Index,
- LP UVI 02.1 AC z wbudowanym przetwornikiem ($4 \div 20mA$) o zakresie pomiarowym $0 \div 20$ UV - Index,
- LP UVI 02 AV z wbudowanym wyjściem napięciowym o zakresie pomiarowym $0 \div 16$ UV-Index, wyjście w zależności od wersji: 0-1V, 0-5V 0-10V.
- LP UVI 02.1 AVz wbudowanym wyjściem napięciowym o zakresie pomiarowym $0 \div 20$ UV-index; wyjście w zależności od wersji: 0-1V, 0-5V 0-10V.

Wersje 02.1 mają pełną skalę, które sięgają 20 UV-index i nadają się do pomiaru w strefach równikowych i wysokogórskich, ostatnie badania wskazują że w takich warunkach indeks UV może przekraczać wartość 11 w znaczącym czasie. Urządzenie nie wymaga specjalnej obsługi (z wyjątkiem czyszczenia kopuły i sprawdzania stanu żelu krzemionkowego) pod warunkiem, że jest prawidłowo zasilany. Ta cecha sprawia, że jest to idealne urządzenie do stosowania w odległych stacjach pogodowych. Radiometr może być również wykorzystywany do monitorowania UV słonecznego. Obecnie, wiele usług, które dostarczających dane pogodowe zawiera informację o indeksie UV. Dane te wykorzystywane są do określenia niezbędnego

stopnia ochrony skóry wymaganego dla światła słonecznego tak aby nie spowodowało uszkodzenia skóry, a następnie zdrowia.

Zawartość ozonu w atmosferze to nie jedyny czynnik decydujący o ilości docierającego do Ziemi promieniowania UV. Istotne znaczenie ma również położenie Słońca na widnokręgu – zależne od szerokości geograficznej, pory roku i dnia – określające, jaką drogę mają do pokonania promienie słoneczne, zanim dotrą do powierzchni Ziemi. Im krótsza jest ta droga oraz im mniej absorbentów (np. aerozoli) jest w powietrzu, tym promieniowanie ultrafioletowe jest intensywniejsze. Największe wartości UV występują latem i w południe – w godzinach 10-14. Do powierzchni Ziemi dociera około dwóch trzecich dziennej dawki promieniowania UV.

Jego kolejnym regulatorem jest poziom i rodzaj zachmurzenia. Chmury warstwowe, typu Stratus, w dużej mierze ograniczają dopływ słonecznego promieniowania UV, a burzowe potrafią je zredukować niemal do zera. Cienkie lub rozproszone chmury, typu Cirrus, przepuszczają ponad 90 proc. UV, a w pewnych warunkach (przy odbiciach bocznych na kryształkach lodu, z których się składają) mogą nawet to promieniowanie wzmacniać.

Kiedy słońce jest najsilniejsze?

Według artykułu [<https://matura100procent.pl/gorowanie-slonca-i-kat-padania-promieni/>], ciągu każdego roku Ziemia pokonuje odległość równą 930 mln km, wykonując ruch wokół Słońca po orbicie. Nazywamy to ruchem obiegowym Ziemi lub ruchem postępowym. Eliptyczny kształt orbity, po którym wędruje Ziemia powoduje, że znajduje się ona w różnej odległości od Słońca. Najbliżej Słońca Ziemia znajduje się 2-3 stycznia. Wówczas jej odległość wynosi 147 mln km. Najbardziej, bo w odległości ok. 152 mln km Ziemia oddalona jest od Słońca 4-5 lipca.

21 marca i 23 września

Dwukrotnie w ciągu roku promienie słoneczne padają prostopadle na równik. Następuje to 21 marca i 23 września. W konsekwencji półkule północna i południowa są jednakowo oświetlone. Dzień i noc na biegunach trwają wtedy równo 12 godzin. Wraz z oddalaniem się Słońca od równika, zwiększa się wysokość Słońca podczas górowania. Wówczas odległość Słońca jest liczona wzorem: **$h = 90^\circ + \text{szerokość geograficzna}$** .

22 czerwca

W dniu przesilenia letniego, 22 czerwca promienie słoneczne padają pionowo na zwrotnik Raka. Wysokość Słońca zmienia się wraz z oddalaniem się od zwrotnika w stronę północną i południową. Półkula północna jest wówczas oświetlona lepiej, a dzień jest dłuższy od nocy. Za północnym kołem podbiegunowym panuje dzień polarny.

Kąt padania promieni słonecznych mierzymy, stosując następujące wzory:

$$h = (90^\circ - \text{szer. geogr.}) + 23^\circ 27' - \text{dla miejsc położonych na północ od zwrotnika}$$

Raka

$$h = (90^\circ - \text{szer. geogr.}) - 23^\circ 27' - \text{dla miejsc położonych na południe od zwrotnika}$$

Raka

22 grudnia

W dniu przesilenia zimowego, 22 grudnia promienie słoneczne padają prostopadłe na zwrotnik Koziorożca. Półkula południowa jest wówczas lepiej oświetlona, a dzień jest dłuższy od nocy. Za kołem południowym podbiegunowym panuje dzień polarny.

Wysokość słońca obliczamy korzystając z zależności:

$$h = (90^\circ - \text{szer. geogr.}) + 23^\circ 27' - \text{dla miejsc położonych na północ od zwrotnika}$$

Koziorożca

$$h = (90^\circ - \text{szer. geogr.}) - 23^\circ 27' - \text{dla miejsc położonych na południe od zwrotnika}$$

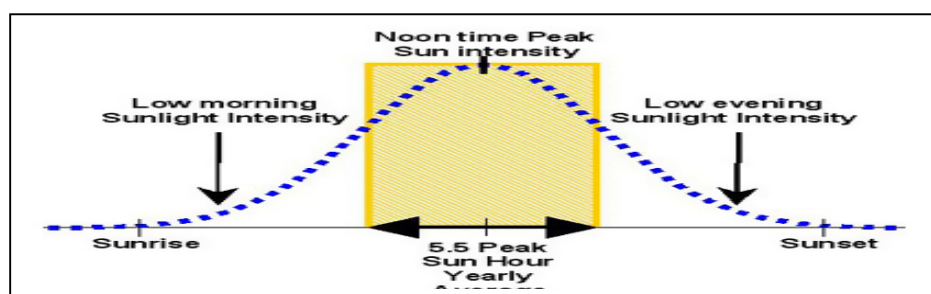
Koziorożca

Najwyższe położenie Słońca danego dnia na niebie nazywamy górowaniem Słońca. Wyznacza on moment astronomicznego południa, a także kierunek południowy na półkuli północnej i północny na południowej. Górowanie Słońca ma miejsce, gdy Słońce znajduje się w największej wysokości kątowej nad horyzontem, czyli wtedy, kiedy przechodzi przez południk niebieski. W wyniku pochylenia osi ziemskiej do płaszczyzny orbity, ta wysokość jest różna dla każdego dnia w roku.

Górowania Słońca w zenicie, czyli w najwyższym punkcie na niebie, znajdującym się dokładnie na wysokości 90° nad głową obserwatora, występuje wyłącznie na obszarach pomiędzy równoleżnikami $23,5^\circ$ (zwrotniki). W Polsce, leżącej między równoleżnikami 49° i 54° takie zjawisko nie występuje. Informacja o wysokości kulminacji i dacie pozwala

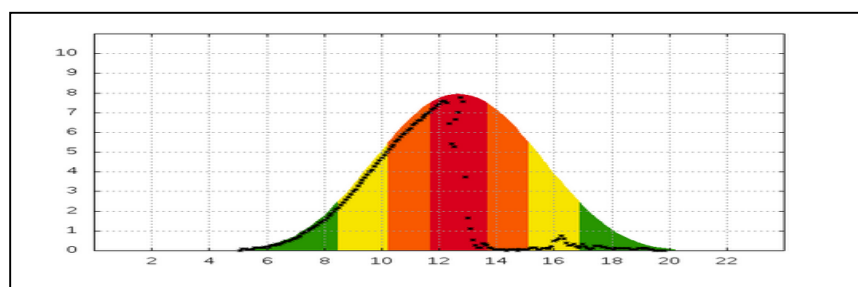
obliczyć szerokość geograficzną miejsca obserwacji. Znając zaś czas górowania można obliczyć jego długość geograficzną.

Ilość promieniowania ultrafioletowego (UV) słońca docierająca do powierzchni Ziemi i związana z nią wartość indeksu UV zależą od kilku czynników, z których najważniejsze to **pora dnia** oraz **pora roku**. Promieniowanie UV jest zazwyczaj najsilniejsze przez kilka godzin około południa, a mniej silne – wczesnym rankiem i późnym popołudniem oraz wieczorem (patrz. Rys. 1).



Rys. 1. Dzienny profil słoneczny. (Źródło: strona internetowa solarexpert.com)

Według artykułu [Jakubowska], latem około 20–30% całkowitej dziennej ilości promieniowania UV dociera między godziną 11:00 a godziną 13:00, a 75% – pomiędzy godziną 9:00 a godziną 15:00 (czasu słonecznego, nie lokalnego). Różnice w ilości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi związane z porą roku są duże w regionach o klimacie umiarkowanym, ale znacznie mniejsze bliżej równika. Przykładowy pomiar indeksu UV, na tle prognozy ze stacji Zakopane z 16 czerwca 2019, obrazujący redukcję promieniowania UV z wysokich wartości niemal do zera przez chmury burzowe; czarne punkty oznaczają dane pomiarowe, kolorowe pola – prognozowane na ten dzień wartości indeksu UV.



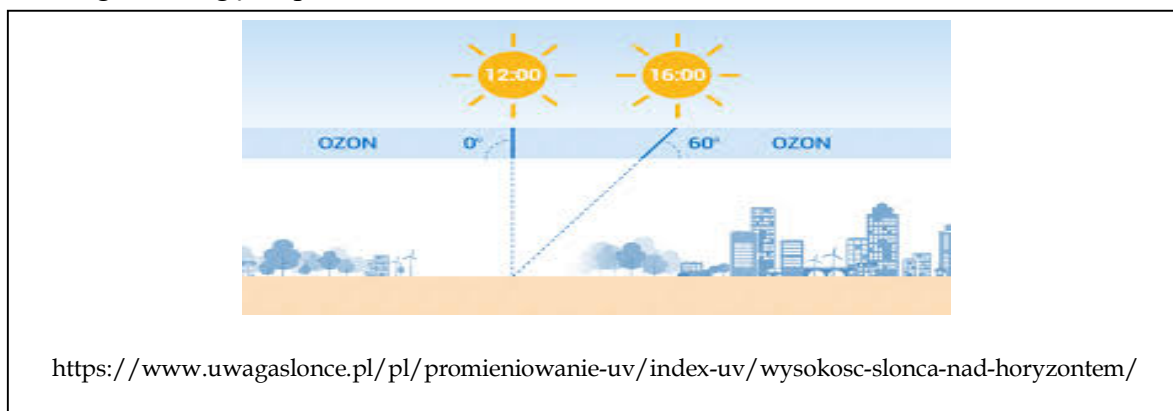
Rys. 2. Indeks UV, Zakopane, pomiar i prognoza

Nie należy zapominać o czynniku topograficznym. W górach ilość otrzymanego przez człowieka promieniowania UV wzrasta wraz z wysokością – o mniej więcej 4 proc. na każde

300m. Ponadto znaczenie ma rodzaj terenu, na jakim przebywamy, np. nad morzem dawka promieniowania zwiększa się w wyniku jego rozproszenia i odbicia od powierzchni piasku i wody. Cień natomiast redukuje poziom UV o blisko połowę. Do innych ważnych czynników mających wpływ na natężenie promieniowania UV na powierzchni Ziemi należą:

- **szerokość geograficzna** (roczne dawki promieniowania UV maleją wraz ze zwiększającą się odległością od równika),
- **wysokość** (zasadniczo wraz ze wzrostem wysokości o każde 300 m skuteczność promieniowania słonecznego pod względem poparzeń słonecznych wzrasta o 4%),
- **powierzchnia odbijająca promieniowanie** (np. śnieg, woda) (śnieg odbija do 85% promieniowania UV, a woda – około 5–10%; odbite promieniowanie UV może doprowadzić do uszkodzeń skóry w takim samym stopniu jak bezpośrednie promieniowanie UV),
- **zachmurzenie** (ilość promieniowania UV, która dociera do powierzchni Ziemi, jest ograniczana przez chmury w zależności od grubości, gęstości i kształtu chmur),
- **zanieczyszczenie powietrza** (podobnie jak w przypadku chmur, smog miejski powstały w wyniku zanieczyszczenia powietrza również wpływa na ilość promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi).

Kąt padania promieni słonecznych ma bezpośredni wpływ na natężenie promieniowania UV, co pokazano na Rys. 3, które dociera do powierzchni ziemi. Zależnie od wysokości słońca nad horyzontem promienie słoneczne pokonują różnej długości drogę do powierzchni Ziemi.



Rys. 3. Wpływ kąta padania promieni słonecznych na natężenie promieniowania UV

Jeśli słońce stoi w zenicie (godzina 12.00, południe), czyli promienie słoneczne padają prostopadle do Ziemi, to droga jaką pokonują jest najkrótsza. Tym samym promieniowanie

jest najsłabiej pochłaniane w atmosferze i tym samym dociera go do Ziemi najwięcej. Dlatego szczególnie niebezpieczne jest przebywanie na słońcu w godzinach południowych.

W godzinach popołudniowych Słońce świeci pod kątem około 60 stopni (godzina 16.00). Droga jaką pokonują promienie jest wtedy dwa razy dłuższa. W efekcie następuje silniejsze pochłanianie promieni słonecznych, a więc do Ziemi dociera ich mniej. Tym samym przebywanie na słońcu jest wówczas mniej niebezpieczne i można nawet czterokrotnie wydłużyć czas opalania.

MONITORING PROMIENIOWANIA UV-B W POLSCE

Na podstawie artykułu [Skórska], w Polsce, podobnie jak w wielu innych państwach, prowadzony jest ciągły pomiar natężenia promieniowania ultrafioletowego przez dwa centralne ośrodki badawcze. Jeden z nich to Centralne Obserwatorium Geofizyczne Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Belsku (ok. 50 km od Warszawy), gdzie od 1975 r. jest rejestrowane biologicznie czynne ultrafioletowe promieniowanie słoneczne, za pomocą aparatury o czułości widmowej zbliżonej do czułości erytemalnej, odpowiadającej tworzeniu rumienia skóry człowieka.

Z opublikowanych raportów można się dowiedzieć, że w 2013 r. indeks UVI miał największą wartość średnią w lipcu (5,5), mniejszą w czerwcu (5,4), a najniższą w sierpniu (4,7).

W 2015 r. wartości te były nieco wyższe i wynosiły w lipcu (6,3), w czerwcu (5,9), a w sierpniu (5,2), natomiast największą wartość indeksu UVI w Belsku wynoszącą (7,4) zarejestrowano 16 czerwca 2015 r., a wartości równe lub większe niż (7,0) stwierdzono w lipcu 2015 r. pięć razy.

Autorzy raportu wykazali, że średni poziom napromieniowania UV-B w 2015 r. był o 18% wyższy niż w połowie lat 70. XX w., co przypisują zmianom zawartości ozonu w stratosferze i zmniejszonemu stężeniu aerozoli atmosferycznych.

Drugą jednostką rejestrującą poziom UV-B w Polsce, to leżący w Legionowie, w odległości 22 km od centrum Warszawy, Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery, (poprzednia nazwa: Ośrodek Aerologii), należący do warszawskiego Instytutu Meteorologii i

Gospodarki Wodnej. Pomiary są tam wykonywane od połowy 1993 r., przy wykorzystywaniu radiometrów zainstalowanych na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem.

Wyniki pomiarów służą do badań o charakterze klimatycznym. Od 2005 r. na stacjach w Legionowie, Łebie, Katowicach i Zakopanem zainstalowano dodatkowo radiometry działające w ramach sieci monitoringu, a wyniki są na bieżąco publikowane na stronie ww.pogodynka.pl/indeksuv. Od maja do września można tam znaleźć wartość indeksu UVI (aktualizowana co 5 minut) i prognozę indeksu UVI na następny dzień. Dostępne są także mapy zbiorcze ze średnim indeksem UVI oraz wykresy indeksu (chwilowego i średniego) z wymienionych stacji.

Z opublikowanych raportów wynika, że w 2015 r. najwyższą wartość indeksu UVI zarejestrowano w lipcu w Zakopanem (9,5), w Katowicach (8,0), podczas gdy maksymalne wartości w Łebie i Legionowie w ciągu całego roku nie osiągnęły (7,0). Na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości indeksu UVI zbliżone do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające.

Dużo przypadków ekstremalnych wartości indeksu UV zaobserwowano na stacji w Zakopanem, zwłaszcza w sierpniu, a najwyższe wartości zanotowano w lutym i kwietniu.

Ekstremalne natężenia promieniowania UV-B związane były ze znacznymi ubytkami ozonu całkowitego i utrzymującą się w tych okresach słoneczną pogodą. Wysokie wartości indeksu UVI zmierzono także w lipcu w Legionowie oraz w kwietniu w Łebie i Legionowie.

Autorzy raportu podkreślają ponadto, że w okresie zimowym ze względu na niski poziom promieniowania UV-B występuje problem niedoboru witaminy D₃, na który narażeni są szczególnie mieszkańcy północnej części kraju.

Przykładowo, w Łebie w grudniu 2015 r. było 10 dni ze zbyt niskim poziomem UV-B, a w styczniu 8, w Zakopanem był w tym czasie tylko jeden taki dzień, a w Legionowie w grudniu 4 dni, a w styczniu 6.

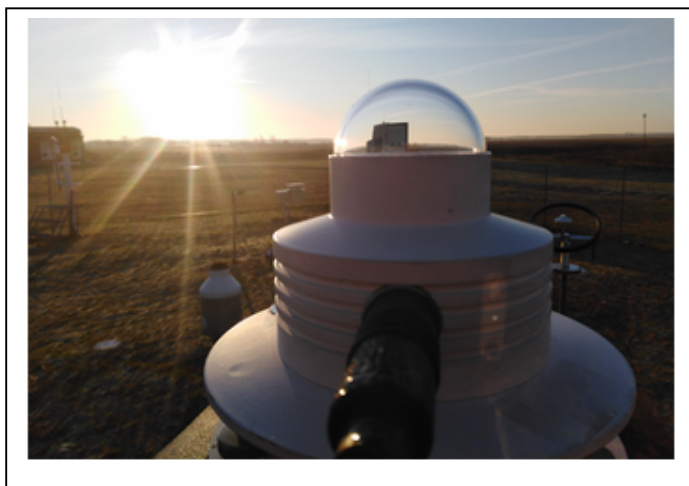
Monitoring promieniowania ultrafioletowego jest ważny przede wszystkim ze względu na osoby masowo korzystające z kąpiei słonecznych w okresie letnim, ale także z powodu ryzyka zachorowań osób pracujących na otwartych przestrzeniach.

Najbardziej narażeni na słoneczne promieniowanie UVI są: rolnicy, pracownicy budowlani wykonujący roboty stanu surowego, ratownicy wodni i marynarze. W Polsce w 2007 r. na zewnętrznych stanowiskach pracy zatrudnionych było 2,84 mln osób, czego największą grupę, około 2,1 mln osób, stanowili rolnicy narażeni często w lecie na promieniowanie o indeksie UVI=8.

Monitoring UV przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

Według artykułu [Skórska], instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy prowadzi monitoring promieniowania UV od początku lat 90. Pomiary są przeprowadzane w trzech lokalizacjach – w Łebie, Legionowie, Zakopanem – na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska i finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

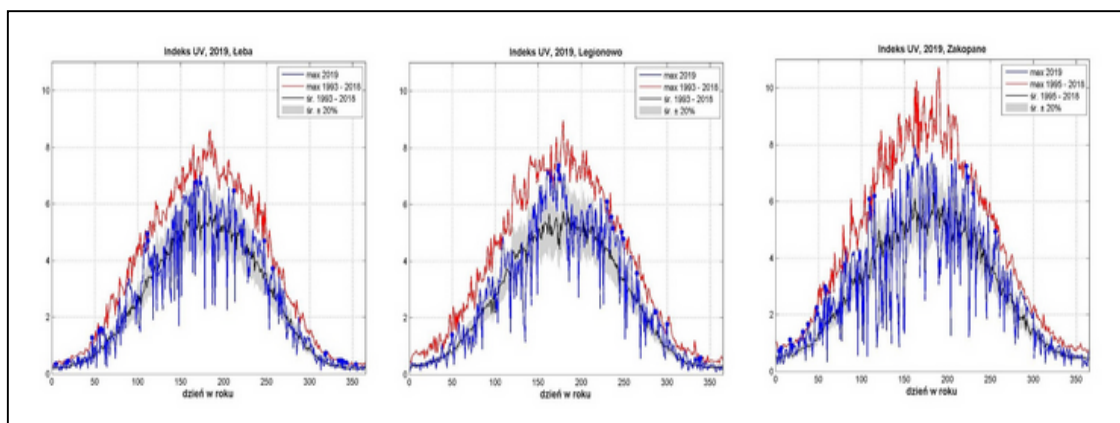
Do mierzenia promieniowania UV-B (tzw. erytemalnego, rumieniotwórczego), co pokazano na Rys. 4, wykorzystuje się szerokopasmowe czujniki UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light.



Rys. 4. Szerokopasmowy czujnik UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar

Po przejściu promieni słonecznych przez kwarcową kopułkę, warstwa fosforu przetwarza promieniowanie UV na promieniowanie widzialne, a jego wielkość jest mierzona za pomocą fotodiody. Urządzenia są stabilizowane termicznie – temperatura wewnątrz czujnika Solar Light oscyluje w bardzo wąskim zakresie wokół 25°C. Ponadto czujnik jest wyposażony w

wymienny osuszacz, chroniący przed jego zawilgoceniem oraz poziomice, niezbędną do prawidłowego ustawienia urządzenia. Na poniższym Rys. 5, przedstawiono przebiegi rocznych indeksów UV w Polsce, na przykładzie danych ze stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem – z niskim poziomem UVI zimą i jesienią oraz wysokim i bardzo wysokim w okresie letnim.



Rys. 5. Przebieg roczny indeksu UV w Polsce na przykładzie danych ze stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem – z niskim poziomem UVI zimą i jesienią oraz wysokim i bardzo wysokim w okresie letnim.

Na powyższym rysunku, niebieską linią wykreślono maksymalne wartości UVI zmierzone w 2019 roku. Linią czerwoną zaznaczono maksymalne, a czarną średnie wartości UVI w serii pomiarów z lat 1993-2018 w Łebie i Legionowie oraz z okresu 1995-2018 w Zakopanem. Kolorem szarym zaznaczono obszar $\pm 20\%$ od wartości średnich. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku.

Ze względu na położenie stacji, najwyższe wartości UVI obserwuje się w Zakopanem. W 2019 roku szczególnie wyróżniał się czerwiec w stacji w Legionowie, gdzie obserwowano wartości UVI znacznie powyżej 20 proc. od średniej wieloletniej oraz wartości ekstremalne w serii. Wpływ na to miały słoneczna pogoda w połączeniu z niższą od średniej wieloletniej normy zawartością ozonu w atmosferze nad Polską oraz czystsze powietrze z mniejszą ilością aerozoli.

Natężenie promieniowania UV zależy od stanu warstwy ozonowej i warunków meteorologicznych danego roku. Analizy danych pokazują, że w ostatnich latach we wszystkich trzech stacjach IMGW-PIB mierzących promieniowanie UV wystąpiły okresy z

wartościami indeksu UV zbliżającymi się do ekstremów wieloletnich, a nawet je przekraczającymi.

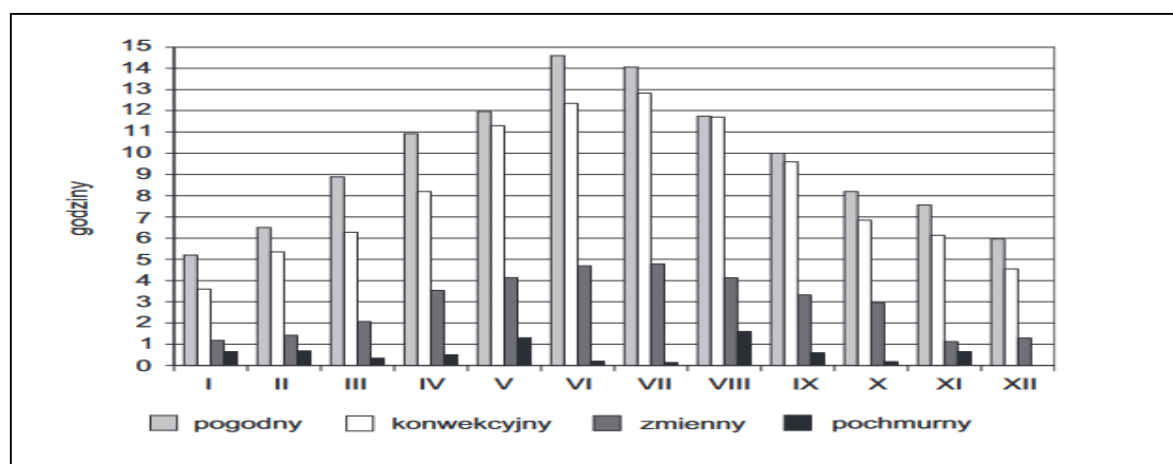
Takie maksymalne poziomy UVI obserwuje się w każdym sezonie, ale te pojawiające się latem są szczególnie ważne i niepokojące.

Przyczyną takiego stanu rzeczy są występujące w ostatnich latach epizody ubytków ozonu nad Polską. Badania prowadzone przez IMGW-PIB potwierdzają pojawianie się w ostatnim czasie okresów z ponad 10-proc. ubytkiem ozonu w stosunku do normy wieloletniej.

Zjawisko to występuje w czerwcu, a więc w miesiącu, gdy słońce operuje najdłużej w ciągu dnia. Przy słonecznej pogodzie i mniejszej ilości aerozoli w atmosferze może to prowadzić do bardzo wysokich wartości UVI.

2. Czas naświetlania skóry człowieka

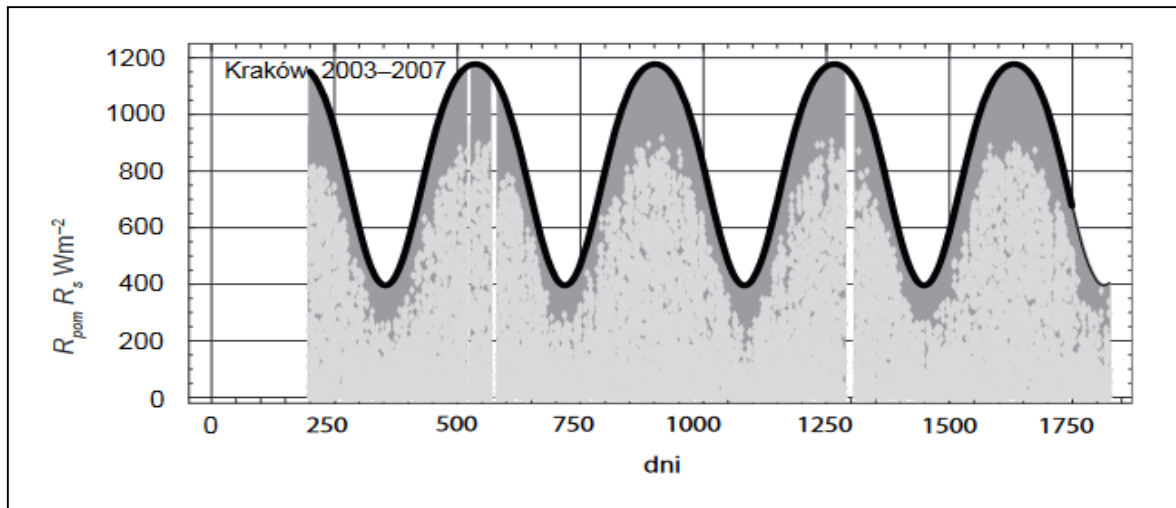
Jak napisał w artykule [Matuszko], obserwowane na niebie w danej chwili zachmurzenie może się składać z chmur jednego rodzaju lub równocześnie z kilku rodzajów tworzących pewne układy i typy charakterystyczne dla określonej sytuacji synoptycznej. Na poniższym Rys. 6, pokazano przebieg roczny usłonecznienia rzeczywistego (U_d) w zależności od typu zachmurzenia w Krakowie (1906–2007).



Rys. 6. Przebieg roczny usłonecznienia rzeczywistego (U_d) w zależności od typu zachmurzenia w Krakowie (1906–2007)

Ilość energii słonecznej dochodzącej do powierzchni Ziemi zależy od czynników astronomicznych, geograficznych oraz stanu atmosfery kształtowanego przez czynniki

pogodowe i antropogeniczne. Różnice między wartościami promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery a natężeniem promieniowania całkowitego zmierzonym przy powierzchni Ziemi uwidoczniają modyfikujący wpływ atmosfery, co pokazano na Rys. 7, w tym głównie zachmurzenia.

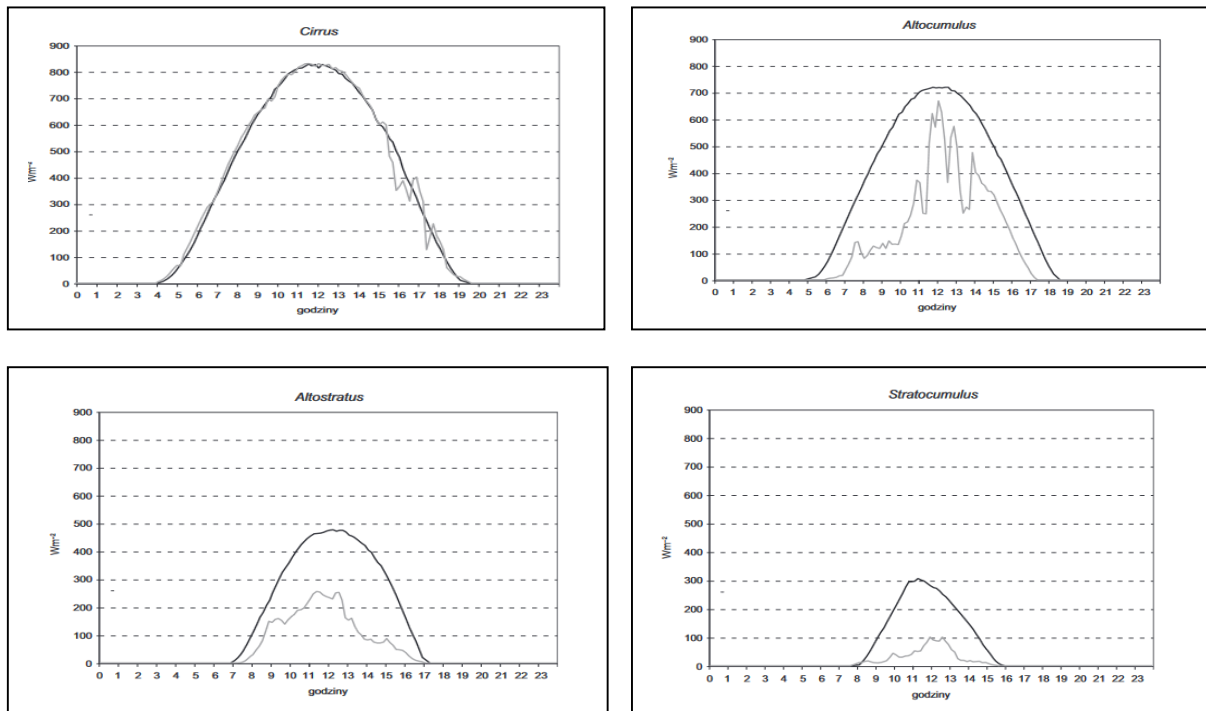


Rys. 7. Zmierzone przy powierzchni Ziemi wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (punkty) i obliczone wartości promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery (tło) w Krakowie, białe pasy oznaczają brak danych.

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię Ziemi jest sumą promieniowania przychodzącego od tarczy słonecznej oraz promieniowania rozproszonego dochodzącego od całego nieboskłonu. W warunkach pogody bezchmurnej natężenie promieniowania całkowitego zależy przede wszystkim od promieniowania bezpośredniego, przy całkowitym zachmurzeniu – od promieniowania rozproszonego, natomiast podczas pogody z częściowym zachmurzeniem natężenie promieniowania bezpośredniego maleje, a rozproszonego wzrasta. Od stopnia pokrycia nieba chmurami, ich rodzajów i położenia względem tarczy słonecznej zależą proporcje między tymi dwoma składnikami promieniowania całkowitego. Ważne jest położenie chmur w stosunku do Słońca, ale znaczenie ma nie tylko to czy jest ono zasłonięte przez chmury, czy nie, ale w przypadku gdy chmury nie zakrywają tarczy słonecznej, istotne jest, czy znajdują się po stronie nasłonecznionej, czy zacienionej.

Jeśli chmura kłębiasta zakryje Słońce, następują wielkie spadki natężenia promieniowania, ze względu na jej dużą miąższość, co pokazano na Rys. 8. Według K.N. Liou (1976) oraz D.W.

Reynoldsa i in. (1975), Cumulonimbus (przy całkowitym zachmurzeniu) ma tylko 3% przepuszczalności, a Cumulus od 10 do 23% (Houghton 1954; London 1957).



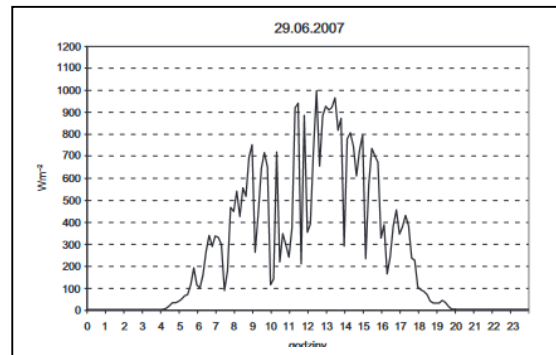
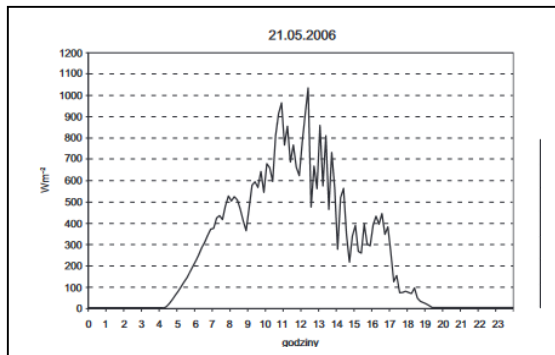
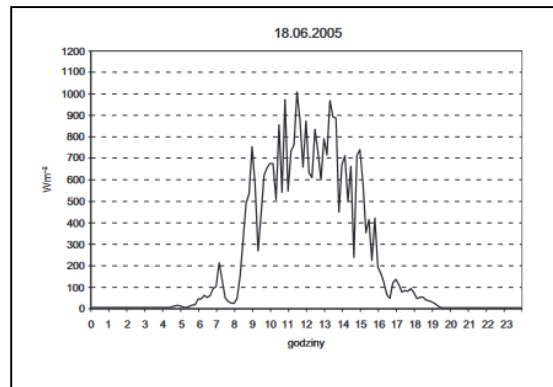
Rys. 8. Przebieg dobowy natężenia promieniowania całkowitego w dniu bezchmurnym i w dniu z pokryciem nieba przez poszczególne rodzaje chmur: a) Cirrus (22.05.2005) – bezchmurny (12.05.2006), b) Altocumulus (29.09.2006) – bezchmurny (1.09.2005), c) Altostratus (13.02.2004) – bezchmurny (21.02.2004), d) Stratocumulus (8.12.2004) – bezchmurny (16.12.2005).

W ciągu dnia chwilowy zakres zmian osłabienia promieniowania słonecznego przez poszczególne rodzaje chmur jest bardzo duży, co pokazano na Rys. 9: od 30 Wm^{-2} przy chmurach Cirrus i Cirrostratus do prawie 900 Wm^{-2} przy Cumulonimbus.

W wielu przypadkach o natężeniu promieniowania całkowitego decyduje nie tylko rodzaj chmury, lecz także jej gatunek, a nawet odmiana, największe kontrasty zaznaczają się przy odmianach translucidus i opacus oraz gatunkach calvus i capillatus, humilis i congestus, fibratus i spissatus oraz stratiformis i castellanus².

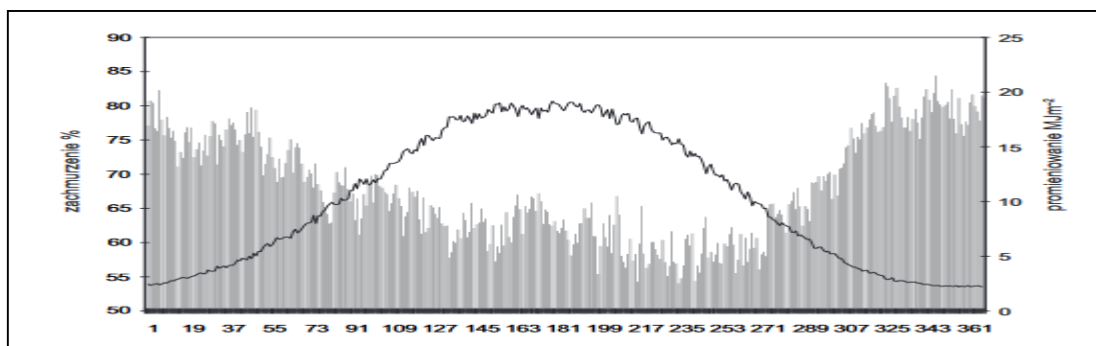
W dniach z chmurą Stratus (8/8) różnice w natężeniu promieniowania są bardzo duże ze względu na różną miąższość tej chmury lub – a może przede wszystkim – z powodu obecności chmur leżących wyżej, które są niewidoczne ze stacji naziemnej.

Gdy występują chmury Cirrus i Cirrostratus, bardzo istotne jest wzniesienie Słońca nad horyzontem; przy niskim położeniu Słońca chmury te w znacznym stopniu ograniczają promieniowanie.



Rys. 9. Przebieg dobowy natężenia promieniowania całkowitego w dniach z wartością powyżej 1000 Wm^{-2} w Krakowie (2004–2007), zachmurzenie Z (w oktantach) w godzinach (G): 7.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00 według czasu UTC +1.

Według artykułu [Matuszko], wpływ zachmurzenia na całkowite promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi jest doskonale widoczny w rozkładzie sum dziennych promieniowania w ciągu roku, co pokazano na Rys. 10.



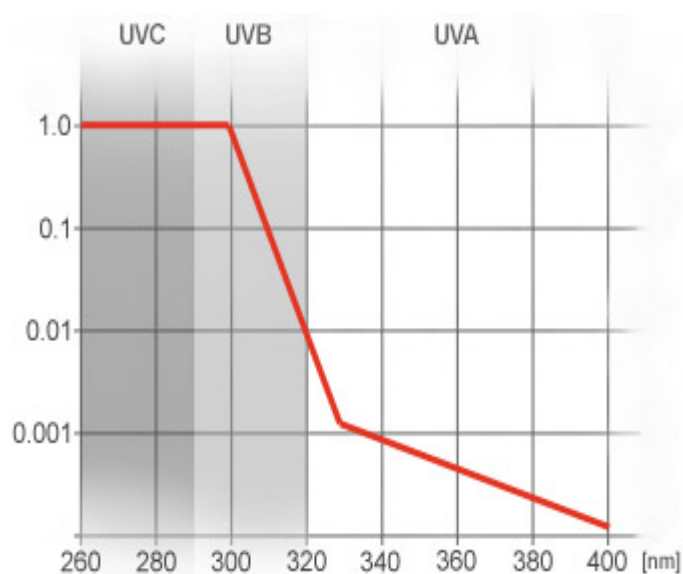
Rys. 10. Wpływ zachmurzenia na całkowite promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi

Podczas naświetlania skóry człowieka promieniowaniem słonecznym, pasmo UV-A nie powoduje widocznych, bolących oparzeń, ale przyczynia się do przyspieszenia procesu starzenia się skóry, ponieważ uszkadza włókna kolagenowe. Wieloletnia ekspozycja na duże dawki promieniowania UV-A może mieć negatywny wpływ na wzrok i powodować zmętnienie soczewki (zaćmę).

Promieniowanie UV-B, poza negatywnym wpływem na zdrowie, jest dla ludzkiego organizmu bardzo ważne, gdyż odpowiada za syntezę witaminy D₃ w skórze. Ta z kolei wspiera prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego oraz mięśni i pomaga w utrzymywaniu zdrowych kości i zębów. Warto zapamiętać, że do wyprodukowania zalecanej dziennej dawki witaminy D₃ w słoneczny letni dzień wystarczy zaledwie kilkanaście minut ekspozycji na promieniowanie UV.

Czułość skóry człowieka na działanie promieni UV (wrażliwość erytemiczna), bardzo silnie zależy od długości fali, a nie tylko od czasu naświetlania [**PomiarUV**]. Objawem zbyt dużej dawki jest zaczerwienienie lub oparzenie skóry, co pokazano na Rys. 11. Objawy te, jak również każda zmiana przebarwienia, związane są z destrukcją skóry.

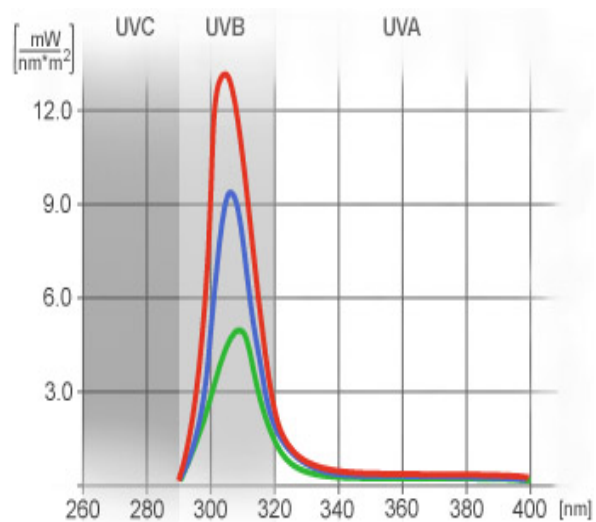
Widmo wrażliwości erytemicznej skóry $S_{er}(\lambda)$. Dla fal krótszych – UVB i UVC, wrażliwość (szkodliwość) jest b. duża. Nawet krótki czas ekspozycji prowadzi do destrukcji. Dla UVA szkodliwość jest niewielka.



Rys. 11. Widmo wrażliwości erytemicznej skóry $S_{er}(\lambda)$

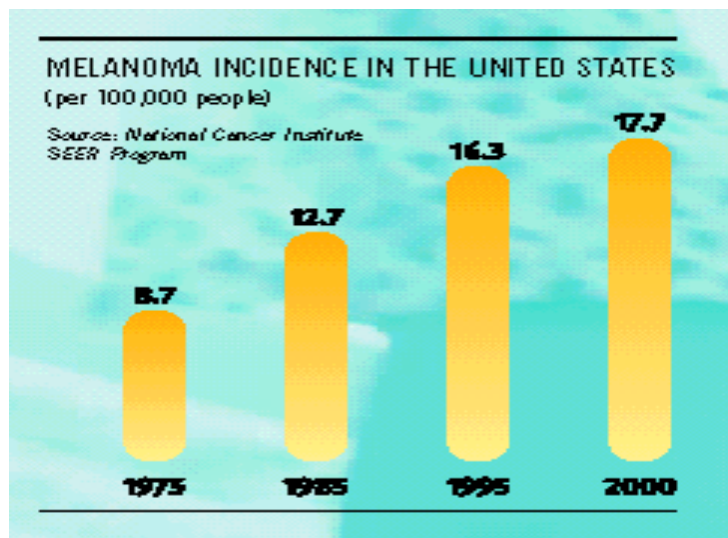
Efektywne widmo UV, pokazane na poniższym Rys. 12, jest iloczynem widma wrażliwości erytemicznej skóry i widma promieniowania UV pochodzącego ze Słońca [**PomiarUV**], które pokazuje, w jakim stopniu efekt poparzenia skóry zależy od długości fali promieniowania UV.

Efektywne widmo UV. Widać, że poparzenia słoneczne są wywoływane przez promieniowanie o długości fali między 300 a 320nm. Zmiany grubości warstwy ozonowej drastycznie zwiększają niebezpieczeństwo poparzeń. Detektor do pomiaru aktywności erytemicznej słońca powinien mieć charakterystykę taką jak na poprzedniej ilustracji.



Rys. 12. Efektywne widmo UV

Począwszy od wczesnych lat 70-tych obserwuje się, na całym świecie, znaczny wzrost zachorowań na raka skóry (melanoma). Wynika to z powszechnego poglądu, że „opalanie się jest zdrowe” z jednej strony, a z drugiej, ze zwiększonej intensywności składowej UVB w promieniowaniu słonecznym, co pokazano na poniższym Rys. 13.



Rys. 13. Zwiększona intensywność składowej UVB w promieniowaniu słonecznym

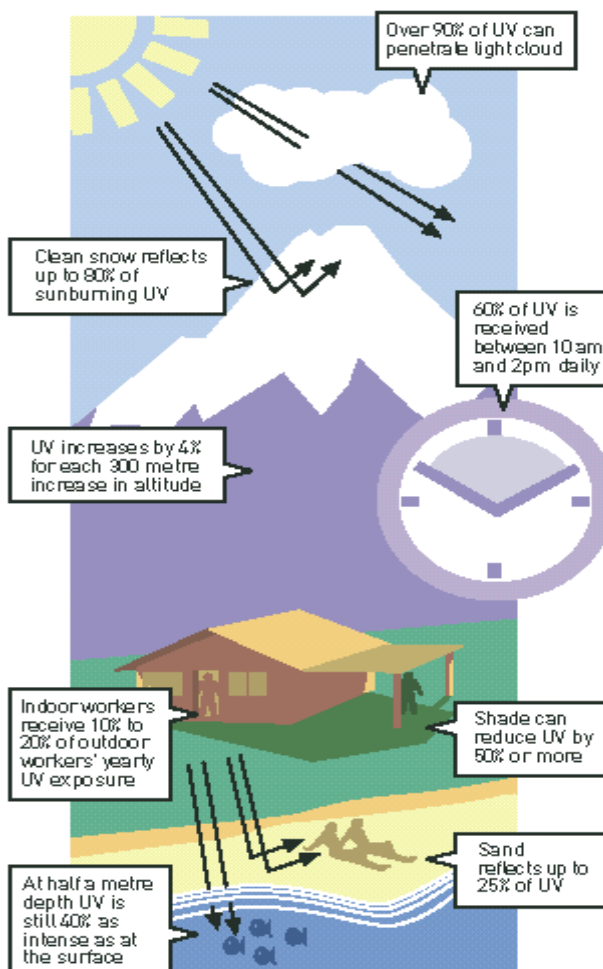
Spowodowało to konieczność wprowadzenia sposobu określenia stopnia szkodliwości, aktualnego natężenia promieniowania, dla człowieka. Taką wielkością jest właśnie Globalny Indeks UVI), wprowadzony z inicjatywy międzynarodowej organizacji WHO i stosowany od 1994 roku.

Znajomość aktualnej wartości UVI pozwala zabezpieczyć się przed negatywnymi skutkami napromieniowania, przez zaplanowanie czasu pobytu na słońcu i środków ochrony (ubranie, żele ochronne itp.)

UVI jest miarą natężenia promieniowania UV na powierzchni Ziemi. Jego wartość, podawana w osobnych komunikatach lub w prognozach meteorologicznych, pozwala ostrzec ludzi przed zagrożeniem i zastosować odpowiednie środki zapobiegawcze. Na zjeździe w Monachium w 2000 roku [Global], społeczność międzynarodowa przyjęła, sposób określania wartości UVI.

Natężenie promieniowania UV zależy od:

- Wysokości słońca – maksymalna w godzinach południowych
- Szerokości geograficznej – im mniejsza tym większe natężenie
- Pory roku – w zimie mniejsze, na wiosnę i w lecie większe
- Zachmurzenia – zwiększone osłabia UV, ale nawet przy bardzo grubej warstwie chmur, może być duże (natężenie rozproszonego promieniowania zależy od długości fali – prawo Rayleigha <http://www.nt.if.pwr.wroc.pl/kwazar/mtk2/fizycy/126175/pawo.htm>), cienka warstwa chmur może, nawet przy ładnej pogodzie, zwiększyć natężenie UV (ugięcie)



- Wysokości npm – im wyżej tym cieńsza warstwa atmosfery i mniejsza absorpcja UV, wzrost wysokości o każde 1000m powoduje wzrost natężenia UV o 10-12%
- Grubość warstwy ozonowej – zmienia się nie tylko w ciągu roku, ale nawet w ciągu dnia. Ma to istotne znaczenie, gdyż ozon absorbuje część promieniowania UV
- Odbicie od powierzchni Ziemi – UV jest odbijane lub rozpraszane od powierzchni takich jak: śnieg (odbija 80% promieniowania), piasek (15%), piana morska (25%), powierzchnia wody (10%)
- Ukształtowania powierzchni ziemi – drzewa, krzewy i nierówności terenu zmniejszają natężenie UV)

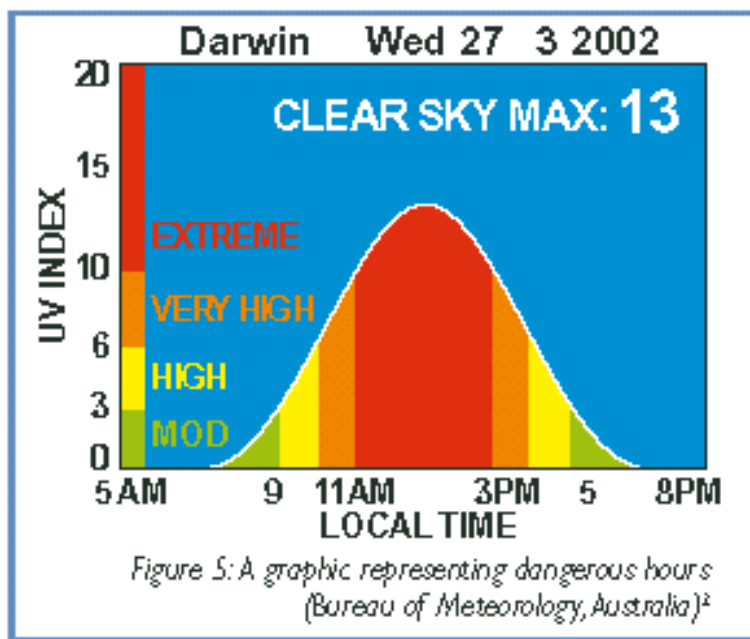
Jak wcześniej opisano, globalny indeks UVI podaje, jaki jest poziom promieniowania UV na powierzchni Ziemi. Jego wartość rośnie od zera w górę. Im wyższa tym większe niebezpieczeństwo uszkodzenia skóry i oczu i tym krótszy powinien być czas przebywania na słońcu. Efekt napromieniowania ulega kumulacji np. wielokrotne poparzenia słoneczne znacznie zwiększają ryzyko raka skóry.

Indeks UV podawany jest dla danego obszaru geograficznego tak, aby odzwierciedlał maksymalne możliwe w danym dniu natężenie promieniowania (w naszej szerokości geogr. między godz. 11.00 a 14.00).

Powinien być on podany jako średnia wartość z okresu czasu, co najmniej 30 minut, z ewentualnym podaniem zmian w okresach 5-10 minutowych. Winna to być pojedyncza wartość zaokrąglona do najbliższej liczby całkowitej.

W przypadku znacznych zmian zachmurzenia należy podać zakres zmian UVI. Przy podanej wartości powinna być informacja czy jest to wartość zmierzona czy prognozowana i w jakich warunkach (bezchmurne niebo, zachmurzenie).

Wartości UVI grupowane są w kategorie zagrożenia: niskie, nieduże, wysokie, bardzo wysokie, nadzwyczajne. Wartość UVI podawana w komunikatach dotyczy maksymalnego natężenia UV w godzinach południowych [**Global**], co pokazano na poniższym Rys. 14.





Rys. 14. Wartość UVI, podawana w komunikatach, dotyczy maksymalnego natężenia UV w godzinach południowych.

2.1. Określenie czasu naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV

Podstawą do wyznaczenia wzoru ogólnego czasu naświetlania $T_{naśw}=f(UV)$ skóry człowieka, jest opinia specjalistów z helioterapii, którzy zalecają, aby latem odsłaniać swoje ciało, średnio od 5 do 30 minut [Wieczorek-Szukala], [Global].

Na czas naświetlania wpływ mają grupy rodzajów skóry, tzw. fototypy, które wyróżniamy w zależności od rodzaju reakcji na promieniowanie słoneczne. Na poniższym Rys. 15, przedstawiono główne fototypy występujące w Polsce, tj.:

- celtycki,
- północnoamerykański,
- środkowoeuropejski,
- południowoeuropejski.

Główne fototypy występujące w Polsce		Czas naświetlania	
	Fototyp celtycki Cera: blada, bardzo często piegowata, kolor włosów: bardzo jasny blond lub rudy	10 minut	
	Fototyp północnoeuropejski Cera: jasny odcień skóry, często z piegami, kolor włosów: jasny lub ciemny blond	10-20 minut	
	Fototyp środkowoeuropejski Cera: śniada, kolor włosów: ciemny blond lub brązowy	20-30 minut	
	Fototyp południowoeuropejski Cera: jasnobrązowa lub oliwkowa, kolor włosów: ciemny lub czarny	powyżej 30 minut	

Rys. 15. Główne fototypy występujące w Polsce.

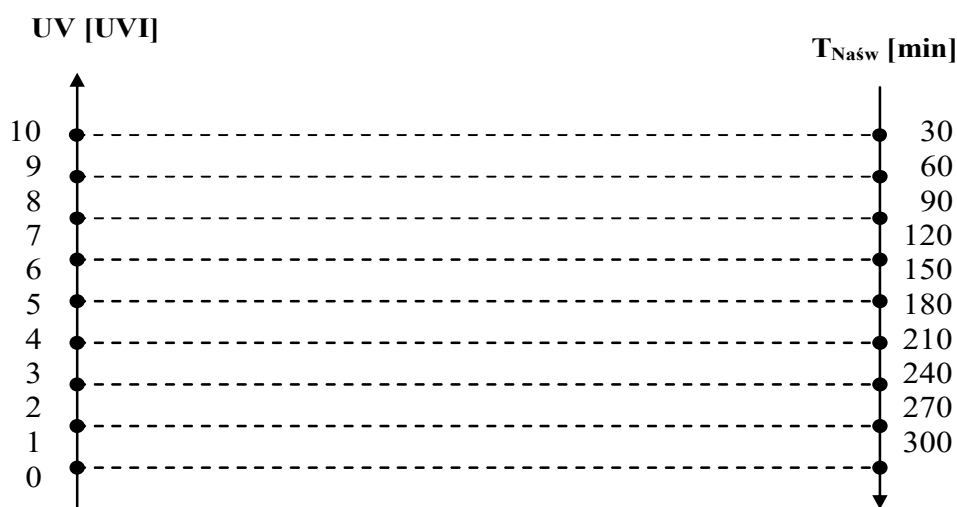
Niestety, ani jeden artykuł [**Global**], ani drugi artykuł [**Wieczorek-Szukala**] nie napisał, jakie powinno być natężenie UVI, podczas 30 minutowego naświetlania. Z opublikowanych raportów warszawskiego Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, wynika, że w 2015 r. najwyższą wartość indeksu UVI zarejestrowano w lipcu w Zakopanem (9,5), [**Skórska**].

Zatem, do moich dalszych działań, w temacie określenie czasu naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV, przyjąłem poniższe założenie:

- Dodatkowym założeniem w tej pracy jest przyjęcie zasady, że odsłanianie ludzkiego ciała, średnio do 30 minut, ma miejsce w okresie, kiedy pomiar maksymalnego natężenie promieniowania ultrafioletowego wykonano w połowie roku, w czasie południa słonecznego." - czyli 10 UVI.

Na podstawie powyższych informacji i mojego powyższego założenia, wynika, że Maksymalna Dawka Naświetlania w ciągu 30 minut, to: $MDN_{30} = 10UVI \times 30 \text{ min} = 300 \text{ Im}$ (Indekso-minut). $MDN_{60} = 600 \text{ Im}$.

Na poniższym rysunku, na podstawie Tabeli 1 pokazanej na Rys. 16, przedstawiona zależność czasu naświetlania od natężenia promieniowania UV.



Rys. 16. Zależność czasu naświetlania $T_{Naśw}$ od natężenia promieniowania UV.

2.2. Wyprowadzenie wzoru funkcji liniowej $T_{Naśw} = f(UV)$

Na podstawie Rys. 16 mamy dwa punkty, które posłużą do wyznaczenia parametrów funkcji liniowej: $T_{Naśw} = f(UV) = y(x) = -ax + b$, tj. współczynnika kierunkowego **a** oraz parametru **b**.

$$y_1 = y(1) = 300 = -a * 1 + b$$

$$y_{10} = y(10) = 30 = -a * 10 + b$$

Po rozwiązaniu powyższego układu równań, otrzymujemy:

$$\text{współczynnik: } a=30$$

$$\text{parametr: } b=330$$

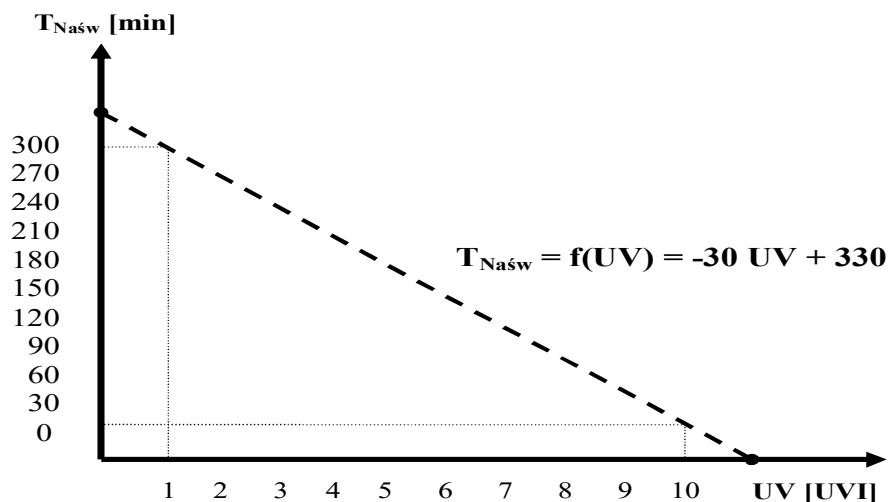
zatem funkcja liniowa ma postać: $y(x) = -30 * x + 330$

Ostatecznie,

(1)

$$T_{Naśw} = f(UV) = -30 UV + 330$$

Wykres tej funkcji $T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV})$ pokazano na poniższym Rys. 17.



Rys. 17. Funkcja $T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV})$ określająca zależność czasu naświetlania od natężenia promieniowania ultrafioletowego UV.

2.3. Wyprowadzenie wzoru ogólnego na obliczanie czasu naświetlania $T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV})$

Do wyprowadzenia wzoru ogólnego na obliczanie czasu naświetlania, posłużono się parametrem $M = \text{Max}(\text{UV})$, czyli maksymalnym natężeniem promieniowania UV, w połowie roku o godz. 12.00, co pokazano na Rys. 8, Rys. 9 oraz Rys. 10. Mamy zatem wkład do układu dwóch równań, o następującej postaci:

$$y_1 = y(x_1=1) = 300 = -a * 1 + b$$

$$y_{10} = y(x_{10}=M) = 30 = -a * M + b$$

Po rozwiązaniu powyższego układu równań, otrzymujemy:

$$\text{współczynnik: } a = 270/(M-1)$$

$$\text{parametr: } b = 300 + 270/(M-1)$$

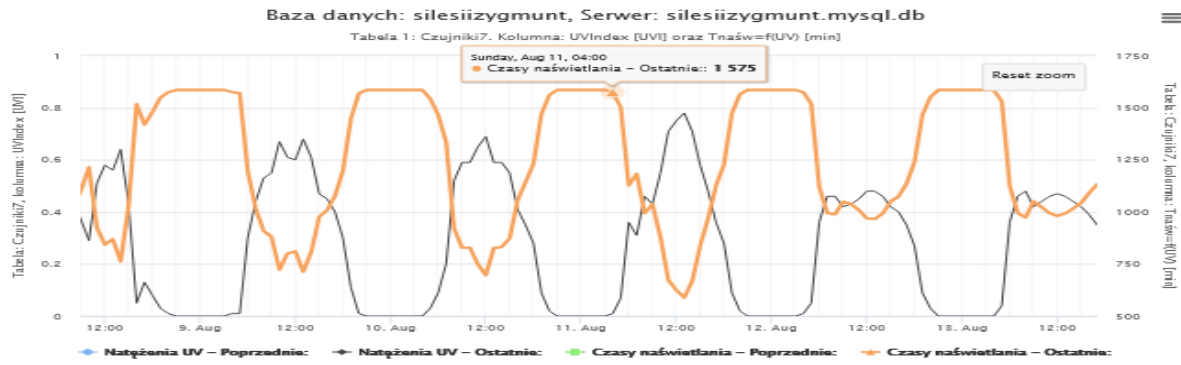
zatem:

$$T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV}) = (1 - \text{UV}) * 270/(M-1) + 300$$

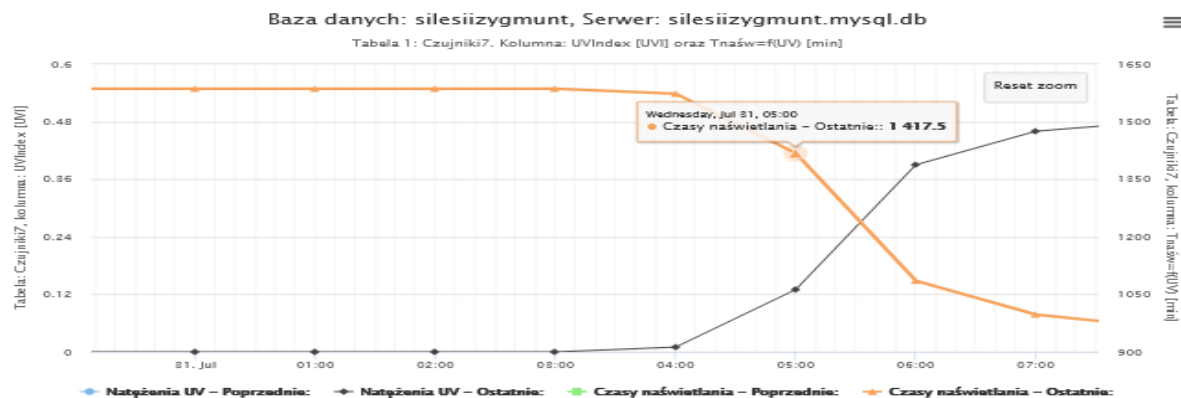
ostatecznie:

$$T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV}) = 300 - 270 * (\text{UV} - 1) / (M - 1) \quad (2)$$

Korzystając z powyższego wzoru $T_{Naśw} = f(UV)$, na podstawie pomiarów natężenia promieniowania UV, w czasie wyświetlania wykresu, w sposób dynamiczny obliczano, odpowiadający pomiarom natężenia, czas naświetlania skóry człowieka, co pokazano na poniższym Rys. 18.



Rys. 18. Czas naświetlania skóry człowieka, na podstawie natężenia UV - wykresy natężenia UV oraz czasów naświetlania z kilku dni.



Rys. 19. Czas naświetlania skóry człowieka, na podstawie natężenia UV - wykresy natężenia UV oraz czasów naświetlania z kilku godzin.

3. Określenie dawek naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV

Podstawą do wyprowadzenia wzoru ogólnego dla obliczania dawek naświetlania, na podstawie mocy promieniowania UV są:

1. Definicja dawki promieniowania UV:

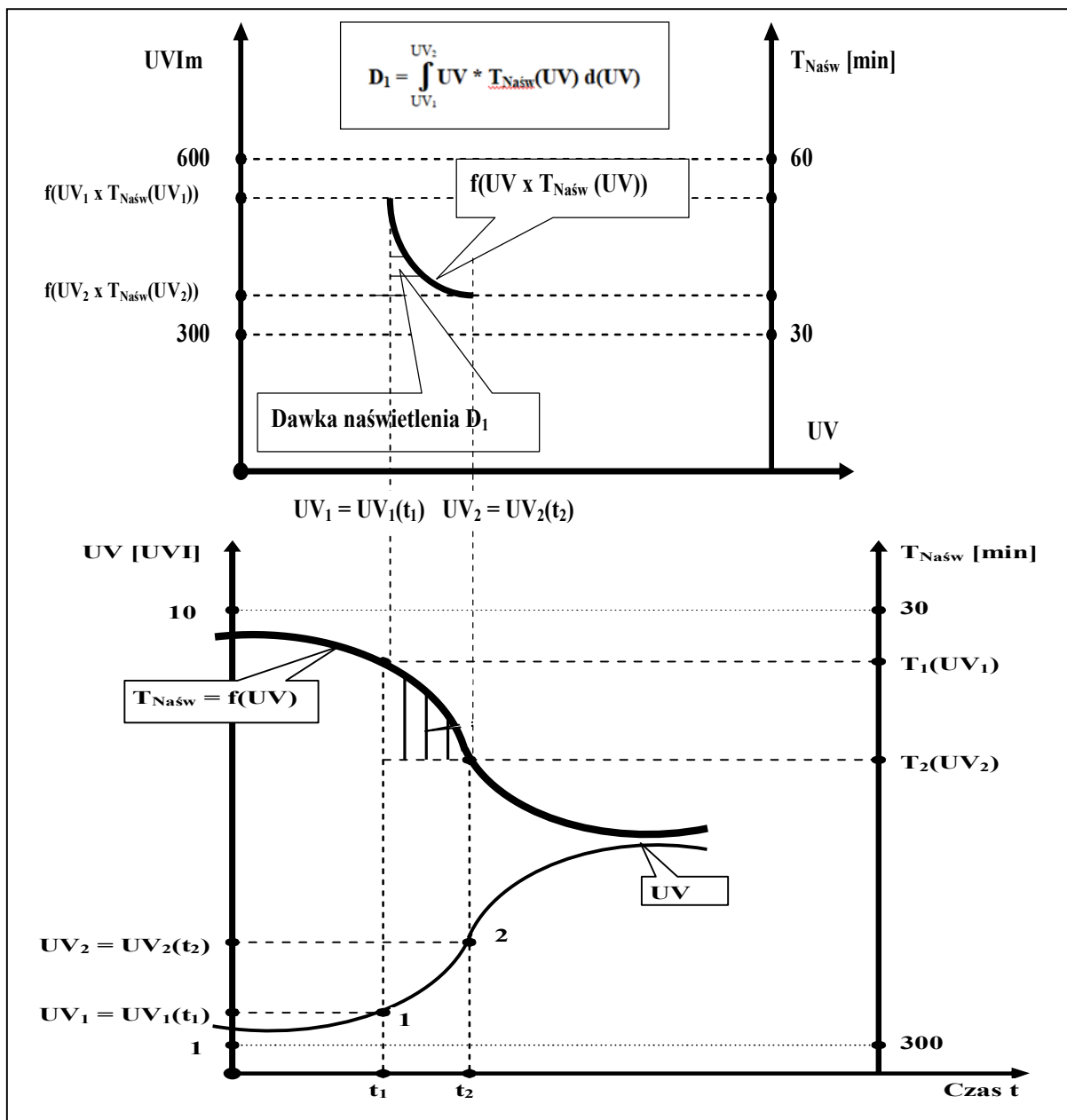
$$\text{Dawka_UV} = \text{Moc_promieniowania_UV} \times \text{czas}$$

2. Ogólny wzór czasu naświetlania skóry człowieka:

$$T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV}) = 300 - 270 \cdot (\text{UV} - 1) / (\text{M} - 1)$$

gdzie $\text{M} = \text{Max}(\text{UV})$

Na podstawie Rys. 11 oraz Rys. 12., które wyjaśniają efektywne widmo UV, będące iloczynem widma wrażliwości erytemicznej skóry i widma promieniowania UV pochodzącego ze Słońca, w podobny sposób, na Rys. 20, opisano wykres funkcji $f(\text{UV}, T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV}))$, będącej iloczynem promieniowania UV i czasu naświetlania $T_{\text{Naśw}} = f(\text{UV})$.



Rys. 20. Dawka naświetlania skóry człowieka.

Na podstawie powyższych informacji, definicja dawki naświetlania skóry człowieka jest następująca:

$$D_1 = \int_{UV_1}^{UV_2} UV * T_{Naśw}(UV) d(UV) \quad (3)$$

$$D_1 = \int_{UV_1}^{UV_2} UV * \left[300 - \frac{270(UV - 1)}{M - 1} \right] d(UV) \quad (4)$$

$$D_1 = (300 + 270/(M-1)) \int_{UV_1}^{UV_2} UV d(UV) - 270/(M-1) \int_{UV_1}^{UV_2} (UV)^2 d(UV) \quad (5)$$

$$D_1 = (300 + 270 / 2(M-1)) * (UV)^2 \Big|_{UV_1}^{UV_2} - 270 / 3(M-1) * (UV)^3 \Big|_{UV_1}^{UV_2} \quad (6)$$

Ostatecznie:

$$D_1 = (150 + 135/(M-1)) [(UV_2)^2 - (UV_1)^2] - 90/(M-1) [(UV_2)^3 - (UV_1)^3] \quad (7)$$

Po przesunięciu układu współrzędnych do punktu (1), mamy $t_1=0$, $UV_1(t_1) = 0$

mamy końcowy wzór:

$$D_1 = (150 + 135/(M-1)) * (UV_2)^2 - 90/(M-1) * (UV_2)^3 \quad (8)$$

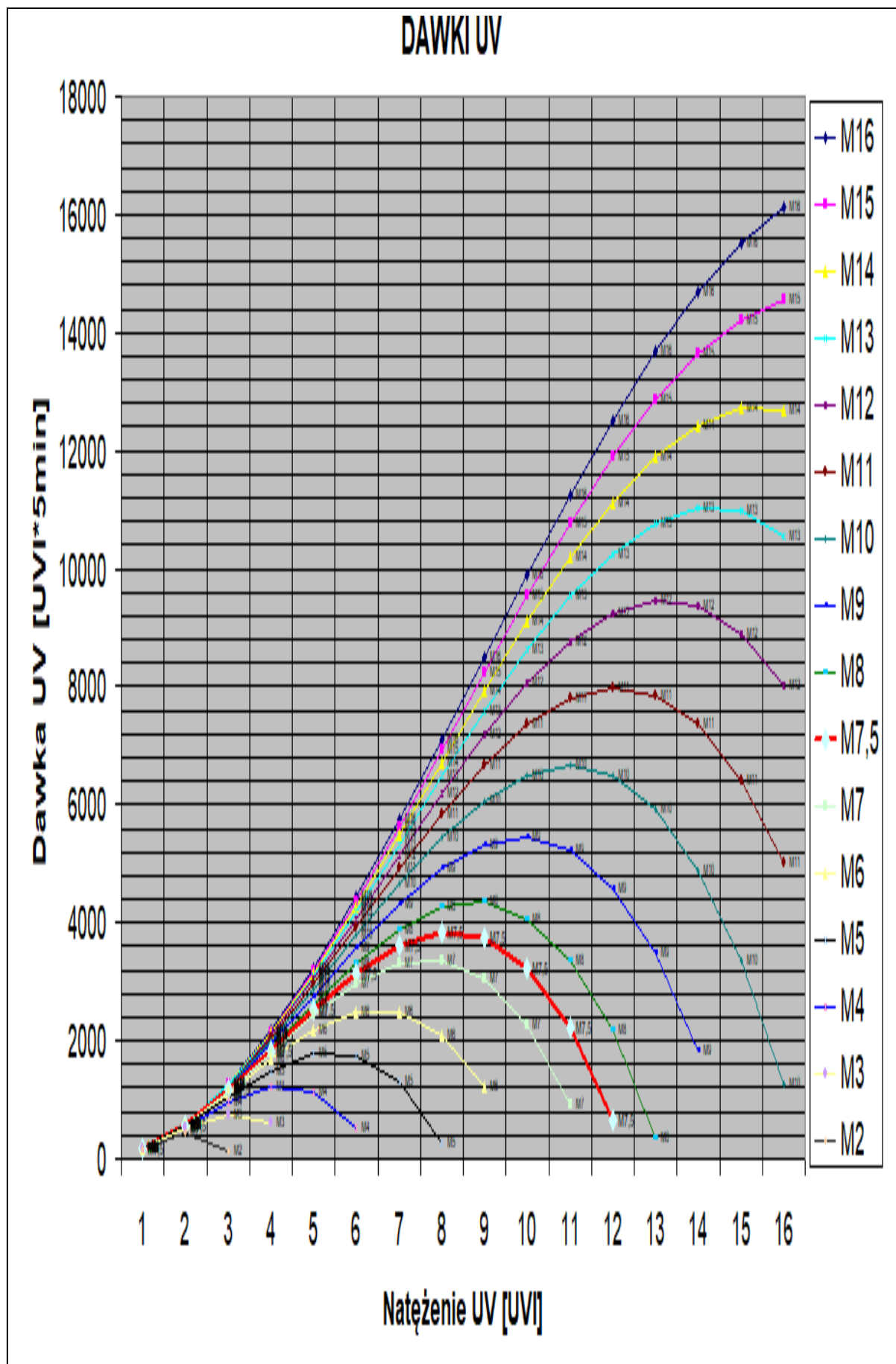
3.1 Obliczenie teoretycznych dawek naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV

Na podstawie wzoru (8), w poniższej tabeli Tab.1, obliczono teoretyczne wartości dawek naświetlania, w zależności od wartości natężenia promieniowania UV.

$\text{DAWKI UV} = \int \text{UV} * \text{Tnaśw.}(\text{UV}) d(\text{UV})$																
Jest to całka oznaczona, od UV1(t1) do UV2(t2).																
W przypadku t1=0, t2=5min zatem UV1(t1)=0, czyli całka oznaczona jest od UV1=0 do UV2(t2=5min.)																
gdzie Tnaśw(UV) = (300 - 270*(UV-1)) / (M-1)																
DAWKI UV = ((150*M - 15)*UV*UV - 90*UV*UV*UV) / (M-1)																
M = MaxUV	UV															
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	195	420	135	-1200												
3	173	510	743	600	-188	-1890										
4	165	540	945	1200	1125	540	-735	-2880								
5	161	555	1046	1500	1781	1755	1286	240	-1519							
6	159	564	1107	1680	2175	2484	2499	2112	1215	-300	-2541					
7	158	570	1148	1800	2438	2970	3308	3360	3038	2250	908	-1080	-3803			
7,5	157	572	1163	1846	2538	3157	3618	3840	3738	3231	2234	665	-1560			
8	156	574	1176	1886	2625	3317	3885	4251	4339	4071	3371	2160	362	-2100		
9	156	578	1198	1950	2766	3578	4318	4920	5316	5438	5218	4590	3486	1838	-422	-3360
10	155	580	1215	2000	2875	3780	4655	5440	6075	6500	6655	6480	5915	4900	3375	1280
11	155	582	1229	2040	2963	3942	4925	5856	6683	7350	7805	7992	7859	7350	6413	4992
12	154	584	1240	2073	3034	4075	5145	6196	7180	8045	8745	9229	9449	9355	8898	8029
13	154	585	1249	2100	3094	4185	5329	6480	7594	8625	9529	10260	10774	11025	10969	10560
14	153	586	1257	2123	3144	4278	5484	6720	7944	9115	10192	11132	11895	12438	12721	12702
15	153	587	1263	2143	3188	4359	5618	6926	8245	9536	10760	11880	12856	13650	14223	14537
16	153	588	1269	2160	3225	4428	5733	7104	8505	9900	11253	12528	13689	14700	15525	16128

Tab.1. Teoretyczne dawki naświetlania

Na podstawie obliczonych teoretycznych dawek naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV, na poniższym Rys. 21 przedstawiono teoretyczne wykresy dawek UV.



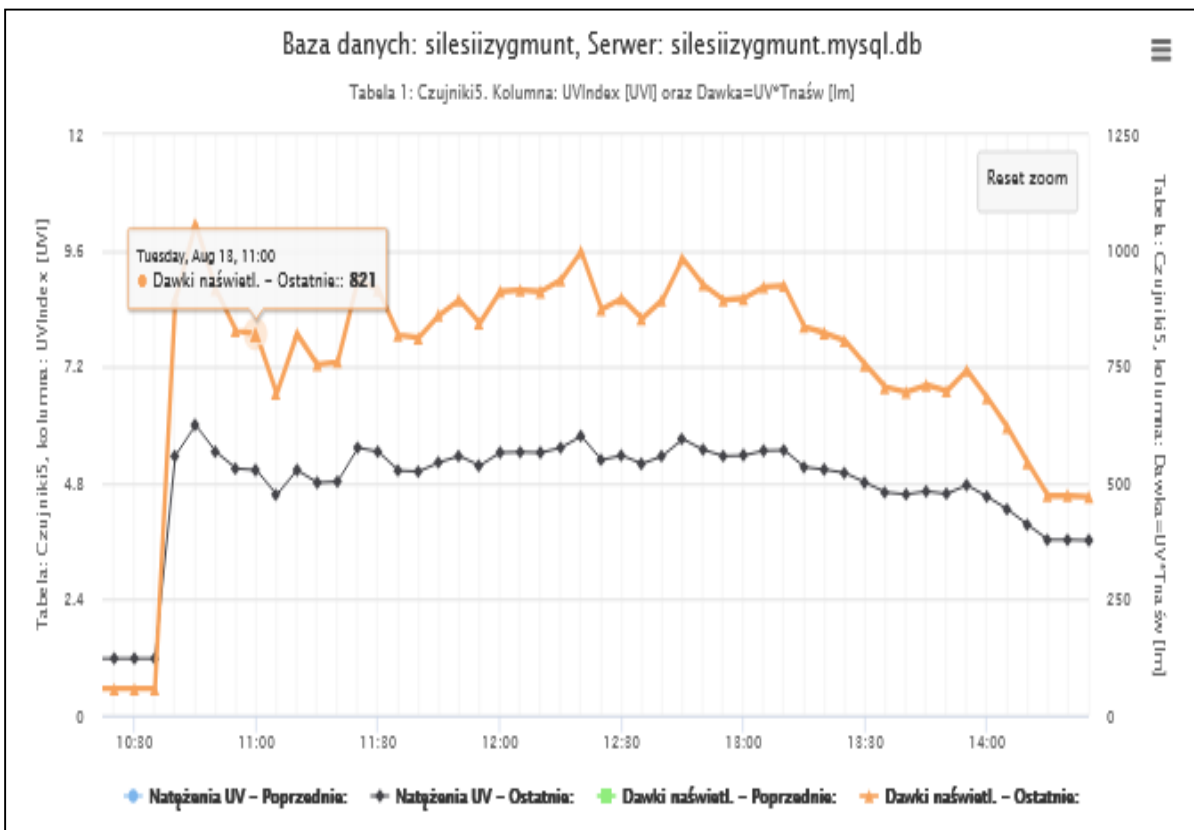
Rys. 21. Teoretyczne wykresy dawek naświetlania

3.2. Wykresy dawek naświetlania

Korzystając ze wzoru (8),

$$D_1 = (150 + 135/(M-1)) * (UV_2)^2 - 90/(M-1) * (UV_2)^3$$

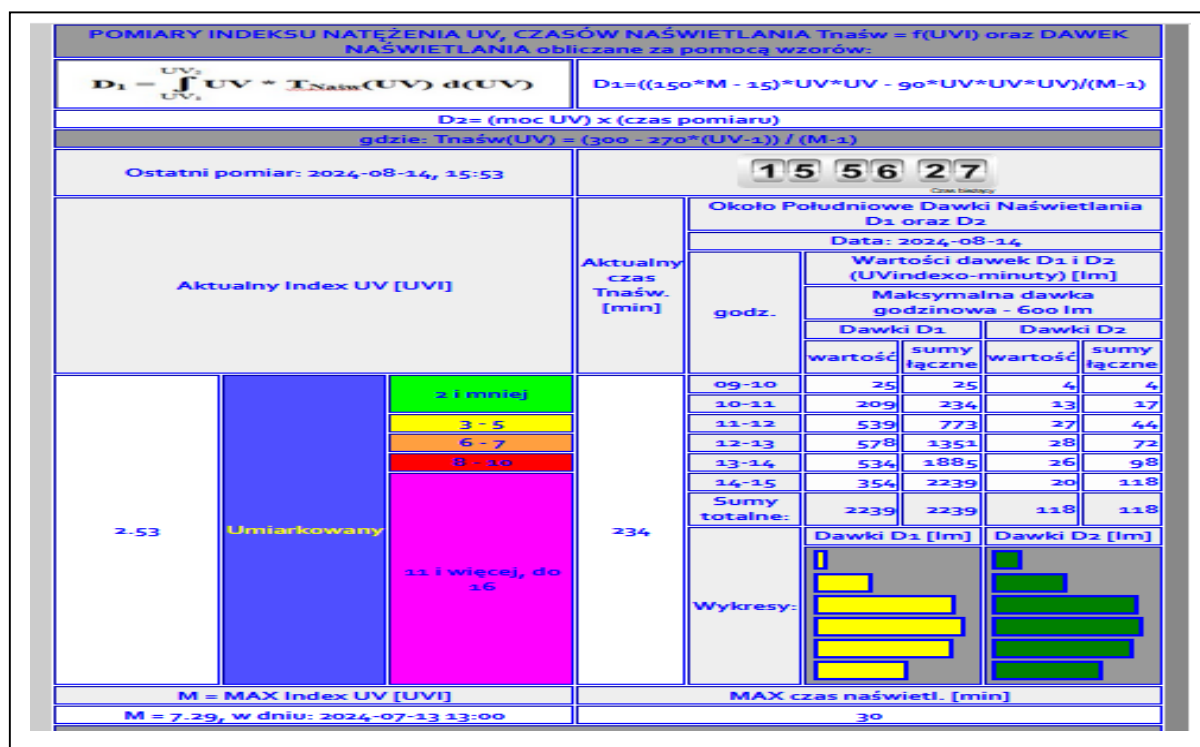
na podstawie pomiarów natężenia promieniowania UV, w czasie wyświetlania wykresu, w sposób dynamiczny obliczano, odpowiadający pomiarom natężenia, dawki naświetlania skóry człowieka, co pokazano na poniższym Rys. 22.



Rys. 22. Dynamiczny wykres dawek naświetlania, na podstawie pomiarów UV.

Na podstawie Rys. 16 oraz Rys.20, maksymalna dawka naświetlenia $D_{0,5h} = 10 \text{ UVI} * 30 \text{ min} = 300 \text{ Im}$ (Indekso-minuty) [Im]. Maksymalna dawka godzinowa $D_{1h} = 600 \text{ Im}$.

Na poniższym Rys. 23., przedstawiono pomiary wartości dawek D_1 , w godzinach około południowych, od godz. 09-15.



Rys. 23. Pomiary dawki D1, w godzinach około południowych, od godz. 09-15, przedstawione na podstronie internetowej:

https://silesiaart.pl/pomiary/uv_new_dawki.php?Osie=1&Okres=1

WNIOSKI

1. Teoretyczne wykresy dawek naświetlania są zależne od natężenia UV oraz $M = \text{Max}(UV)$.
2. Dla danego poziomu $M = \text{Max}(UV)$, teoretyczne dawki naświetlania rosną, począwszy od wartości minimalnej UV, następnie osiągają wartość maksymalną, po czym maleją.
3. Około południowe, godzinowe dawki naświetlania, dla umiarkowanego poziomu indeksu UVI, osiągają wartości mniejsze niż maksymalne wartości teoretyczne, czyli 600 Im.
4. Czas bezpiecznego naświetlania skóry ludzkiej, dla umiarkowanego poziomu indeksu $UVI=3-5$, w godzinach od 12-14 wynosi 0.5h, w którym skóra ludzka pochłania dawkę promieniowania ultrafioletowego 1/2 teoretycznej wartości maksymalnej, czyli 300 Im.

3. Literatura

- [Jakubowska] Biszczuk-Jakubowska J.: "UV – niebezpieczny dar od słońca", IMGWPIB/ Zakład Monitorowania Jakości Powietrza, <https://obserwator.imgw.pl/2020/07/26/uv-niebezpieczny-dar-od-slonca/>.
- [Biszczyk] Biszczuk-Jakubowska J., Curyło A, Kobis B., Zabłocki B.: "SYSTEM INFORMACYJNY O SŁONECZNYM PROMIENIOWANIU UV W IMGW-PIB", Ośrodek Aerologii, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt. 255, 2012, <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS2-0065-0071/c/biszczyk144286.pdf>.
- [Gies] Geis P., Deventer E., Green A.C.: "Review of the Global Solar UV Index 2015 Workshop Report", Health Physics, 114(1):p 84-90, January 2018, https://journals.lww.com/health-physics/Fulltext/2018/01000/Review_of_the_Global_Solar_UV_Index_2015_Workshop.12.aspx.
- [Global] "Global Solar UV Index", World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPWHOSolarUVI.pdf>
- [Globalny] "UV Index, Global Solar Ultraviolet Index (UVI)", International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection, <https://www.icnirp.org/en/applications/uv-index/uv-index.html>
- [Matuszko] Matuszko D.: "Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne", Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2009, <https://core.ac.uk/download/pdf/232008296.pdf>.
- [PomiarUV] konspekt: "Promieniowanie słoneczne-całkowita składowa UV (global UVI)", Wydział Chemii Uniwersytet Jagielloński, http://www2.chemia.uj.edu.pl/~czarniec/OchronaSrodowiska/UVI/UV_konspekt.doc.
- [Skórska] Skórska E.: "ODDZIAŁYWANIE SŁONECZNEGO PROMIENIOWANIA ULTRAFIOLETOWEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA", Tom 65 2016, Numer 4 (313), Strony 657–667, Katedra Fizyki i Agrofizyki Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, <http://kosmos.icm.edu.pl/PDF/2016/657.pdf>.
- [Wieczorek-Szukała] Wieczorek-Szukała K.: Helioterapia – co to jest? Wskazania, przeciwwskazania, efekty leczenia słońcem", 10 maja 2023,

<https://wylecz.to/uroda/helioterapia-co-to-jest-wskazania-przeciwwskazania-efekty-leczenia-sluncem/>.