

Zygmunt Bock

## **METODA POMIARU CZASU ORAZ DAWEK NAŚWIETLANIA CIAŁA LUDZKIEGO PROMIENIOWANIEM ULTRAFIOLETOWYM UV, NA PODSTAWIE POMIARÓW INDEKSÓW UV**

**Streszczenie.** W niniejszym artykule przedstawiono metodę obliczania czasów naświetlania oraz dawek naświetlania skóry ludzkiej, na podstawie pomiarów natężenia promieniowania ultrafioletowego UV. Podstawą tej metody jest wyprowadzenie, na podstawie przyjętych założeń, wzorów obliczeniowych czasu  $T_{Naśw} = f(UV)$  oraz dawek naświetlania  $D = f(UV)$ , zależnych od indeksów natężenia promieniowania UV, na podstawie których obliczane są czasy oraz dawki naświetlania skóry człowieka.

## **METHOD OF MEASURING TIME AND DOSES OF EXPOSURE OF THE HUMAN BODY TO ULTRAVIOLET UV RADIATION, BASED ON ON MEASUREMENTS OF UV RADIATION INTENSITY**

**Summary.** This article presents a method for calculating exposure times and exposure doses of human skin, based on measurements of the intensity of ultraviolet UV radiation. The basis of this method is the derivation, based on the adopted assumptions, of calculation formulas for time  $T_{Naśw} = f(UV)$  and exposure doses  $D = f(UV)$ , depending on the UV intensity indexes, on the basis of which the times and doses of exposure to human skin are calculated.

## 1. Wprowadzenie

Naświetlanie ciała ludzkiego promieniowaniem ultrafioletowym, czyli leczenie światłem słonecznym, poprzez bezpośrednią ekspozycję na jego naturalne światło, to rodzaj fototerapii, znanej już starożytnym cywilizacjom, m.in. w Grecji, Egipcie czy Rzymie, jako helioterapia. Stosowano je powszechnie w przypadku różnych chorób, w tym zapaleń skóry, na odżywienie tkanek organizmu, a także bóle mięśni czy nieżyty dróg oddechowych.

Nowoczesna fototerapia stała się bardzo popularna, szczególnie od końca XIX wieku, w której szczególnie chętnie leczono światłem choroby skóry, jak łuszczyca, trądzik pospolity, egzema czy też trudno gojące się zakażenia ran.

Specjaliści zalecają, aby latem odsłaniać swoje ciało, średnio od 5 do 30 minut, przynajmniej dwa razy w tygodniu, przy założeniu, że im ciemniejsza skóra i im słabsze światło słoneczne, tym więcej minut czasu naświetlania jest potrzebnych, aby osiągnąć właściwy cel, czyli produkcję przez ludzki organizm witaminy D<sub>3</sub>, pod wpływem promieniowania UV, która według naukowców z brytyjskich uniwersytetów w Surrey i Brighton [1, 2] stymuluje układ odpornościowy.

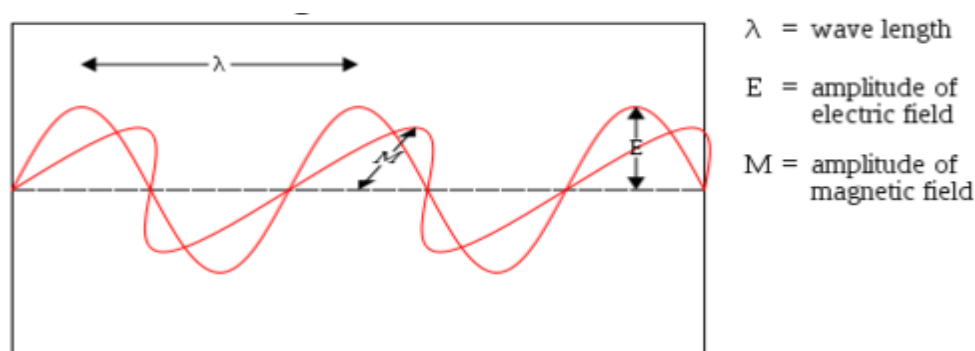
W związku z powyższymi informacjami, pojawia się problem polegający na prawidłowym oszacowaniu czasu oraz dawki naświetlania ciała ludzkiego promieniowaniem ultrafioletowym UV, w zależności od jego poziomu natężenia. Celem tej pracy jest przedstawienie metody obliczania czasów oraz dawek naświetlania skóry ludzkiej, na podstawie pomiarów natężenia promieniowania ultrafioletowego UV. Podstawą tej metody jest wyprowadzenie wzorów obliczeniowych czasu naświetlania  $T_{Naśw}=f(UV)$  oraz dawek naświetlania  $D=f(UV)$ , wykorzystywanych do tworzenia wykresów na stronach internetowych, informujących o dopuszczalnych czasach i dawkach naświetlania.

### 1.1. Promieniowanie ultrafioletowe UV

Teoria elektromagnetyczna Maxwell'a to drugi ważny dział fizyki klasycznej [3], obok mechaniki Newtona, dotycząca zjawisk elektrycznych i magnetycznych, które można najlepiej opisać za pomocą pola elektrycznego  $\mathcal{E}(\mathbf{x})$  i magnetycznego  $\mathcal{H}(\mathbf{x})$ . Pola te związane są z gęstościami ładunku elektrycznego i prądu elektrycznego równaniami Maxwell'a, prowadzące do wniosku, iż w przestrzeni swobodnej, zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne spełniają równanie:

$$\left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 \right) \begin{cases} \mathcal{E}(\mathbf{x}) \\ \mathcal{H}(\mathbf{x}) \end{cases} = \mathbf{0} \quad (1.1)$$

Z tego równania wynika, że pola te rozchodzą się w przestrzeni, jako fale elektromagnetyczne ze stałą prędkością  $c$ . Fala elektromagnetyczna zawiera dwa typy fal, oscylujących w prostopadłych do siebie kierunkach. Jedną z nich jest oscylujące pole magnetyczne, a drugą – pole elektryczne [4]. Wygląda to, jak na poniższym Rys.1:



Rys. 1. Fala elektromagnetyczna, zawierająca dwie typy fale, oscylujące w prostopadłych do siebie kierunkach

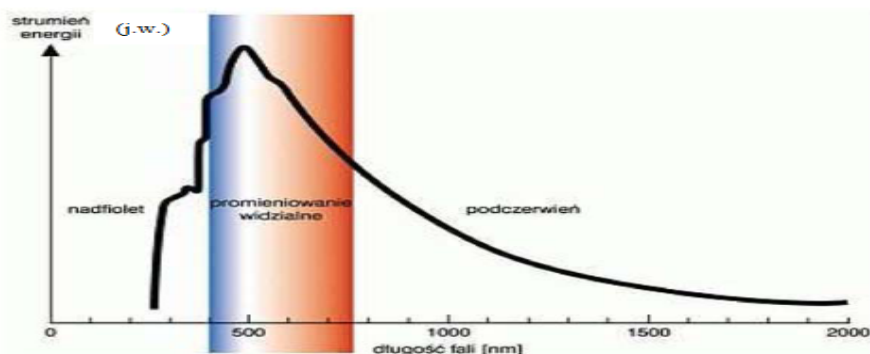
Fig. 1. An electromagnetic wave containing two types of waves oscillating in directions perpendicular to each other

Falę elektromagnetyczną charakteryzuje częstotliwość  $\nu$  oraz długość fali  $\lambda$ . Wielkości te są związane ze sobą wzorem:  $\nu = c / \lambda$ . Promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę: falową i korpuskularną. Oznacza to, że można je opisać również jako zbiór cząstek - fotonów - poruszających się z prędkością światła. Energia fotonu jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali i wynosi:  $E = h \cdot \nu = hc / \lambda$

Promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez wzbudzone atomy pokrywa tylko część całego widma promieniowania elektromagnetycznego, z którym stykamy się w przyrodzie. W zasadzie dotyczy to promieniowania widzialnego, promieniowania ultrafioletowego (odkrytego przez J. Ritter'a oraz W.H. Wollaston'a na początku XIX wieku) oraz promieniowania rentgenowskiego, o energii od części eV do ok. 120 keV.

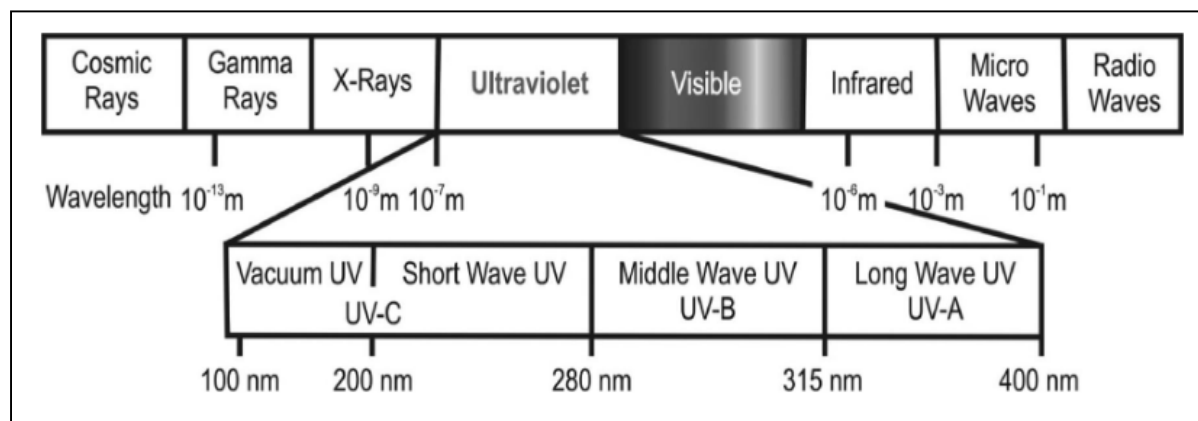
Naturalnymi źródłami promieniowania UV są Słońce, nieboskłon, Księżyc oraz gwiazdy. Widmo emitowane przez Słońce jest zbliżone do widma ciała doskonale czarnego, którego temperatura powierzchni wynosi około 6000 K. Promieniowanie optyczne [5], jest częścią widma promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal z przedziału 100 nm ÷

1 mm. W skład promieniowania optycznego wchodzi: (1) promieniowanie ultrafioletowe (UV), (2) widzialne - czyli światło (VIS) , (3) podczerwone (IR). Widmo emisyjne promieniowania słonecznego przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Widmo emisyjne promieniowania słonecznego  
Fig. 2. Emission spectrum of solar radiation

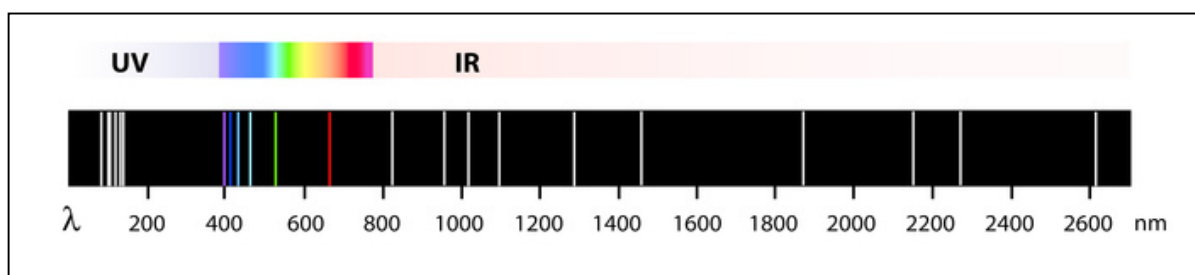
Promieniowanie ultrafioletowe, to promieniowanie elektromagnetyczne o długościach fal mniejszych od długości fali światła fioletowego, co przedstawiono na Rys. 3, czyli skrajnej barwy odbieranej przez człowieka.



Rys. 3. Widmo promieniowania słonecznego z fragmentem ultrafiolet UV  
Fig. 3. The spectrum of solar radiation with a UV ultraviolet fragment

Promieniowanie ultrafioletowe jest niewidzialną częścią promieniowania słonecznego [6], składającego się z światła widzialnego odbieranego jest przez człowieka jako światło białe, w zakresie fal od 380-400 do 720-800 nm oraz światła - podczerwonego (IR) – powyżej 720 nm. Energia kwantów promieniowania UV to kilka eV, dlatego jest ono wysokoenergetyczne [7]. Najkrótsza fala ultrafioletu obejmuje długość 10 nm, co pokrywa się z promieniowaniem

X. Promieniowanie ultrafioletowe sąsiaduje z widzialną częścią niebieskiego światła, co pokazano na Rys. 4.



Rys. 4. Widmo promieniowania słonecznego; ultrafiolet UV, widzialne oraz podczerwone IR

Fig. 4. Spectrum of solar radiation; UV ultraviolet, visible and IR infrared

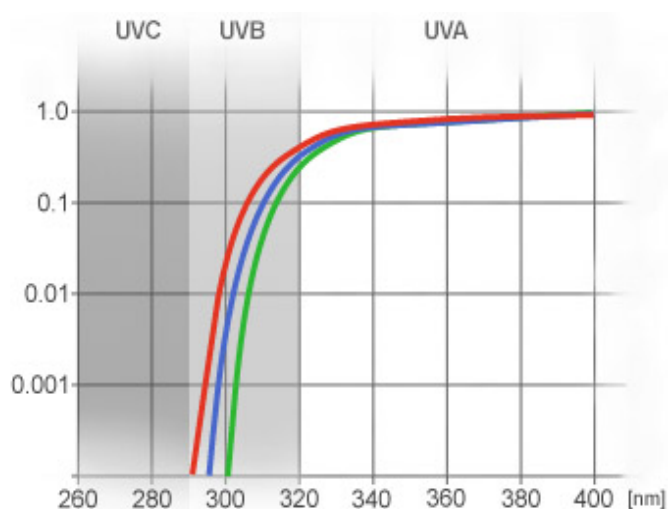
Promieniowanie UV jest podzielone na trzy zakresy spektralne. Do spektrum promieniowania UV należą fale elektromagnetyczne o długości od 400 do 100 nm, które zgodnie z polską normą PN-90/E-01005 pasma te obejmują następujące długości fal:

- **UV-A** (400-315 nm) - w skali międzynarodowej zakres spektralny UVA wynosi często 320-400 nm,
- **UV-B** (315-280 nm),
- **UV-C** (280-100 nm) - ponieważ powietrze pochłania promieniowanie UVC poniżej 200nm, jest ono często uważane za dolną graniczną długość fali.

Promieniowanie **UV-A** stanowi prawie 95% promieniowania ultrafioletowego i przedostaje się najgłębiej do naszej skóry. Jest rodzajem promieniowania, który dominuje podczas wszystkich pór roku. Promieniowanie **UV-B** stanowi zaledwie 5% promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi i ma bardzo silny wpływ na naszą skórę i zdrowie. Promieniowanie UV-B jest odpowiedzialne za powstawanie rumienia, oparzeń słonecznych, zaczerwienia czy nawet nowotworów skórnych. Promieniowanie **UV-C** nie dociera do powierzchni Ziemi, ponieważ praktycznie całkowicie pochłaniane jest przez warstwę ozonową. Oprócz trzech stref ultrafioletu istnieje jeszcze zakres UVD, który zostaje w całości pochłaniany przez powietrze w wysokich warstwach atmosfery.

Promieniowanie ultrafioletowe UV stanowi zaledwie 6% całego promieniowania świetlnego docierającego do powierzchni Ziemi. Gdy promieniowanie słoneczne przechodzi przez atmosferę, wówczas całe promieniowanie UVC i ok. 90% promieniowania UVB jest

absorbowane przez ozon, parę wodną, tlen i CO<sub>2</sub>, dlatego promieniowanie UV docierające do powierzchni Ziemi, składa się z UVA i niewielkiej ilości UVB [8], co pokazano na Rys. 5.



Natężenie promieniowania UV pochodzącego ze słońca, na powierzchni Ziemi, w funkcji grubości warstwy ozonowej: 2.0, 2.6, 4.0 (jednostki skali Dobsona). UVC jest równa zero niezależnie od wahań grubości warstwy. UVA jest b. duża i słabo zależy od grubości warstwy. Natężenie UVB bardzo silnie zależy od grubości warstwy ozonowej.

Rys. 5. Skład widmowy promieniowania UV zależy od grubości warstwy ozonowej znajdującej się w górnej warstwie atmosfery

Fig. 5. The spectral composition of UV radiation depends on the thickness of the ozone layer located in the upper atmosphere

## 1.2. Jednostki promieniowania ultrafioletowego UV

Biologiczne działanie światła ultrafioletowego na ludzkie ciało różni się w zależności od długości fal promieniowania UV, czym zajmuje się fotobiologia, czyli nauka badająca wpływ promieniowania zjonizowanego na system biologiczny. Ilość energii ultrafioletowego promieniowania jonizującego, która została pochłonięta przez 1 kg materii w układzie SI, to 1 grej: Gy = 1J/kg. Stosowaną obecnie jednostką określającą równoważnik dawki pochłoniętej jest siwert (Sv).

$$1 \text{ Sv} = QF \times 1 \text{ Gy}$$

gdzie:  $QF$  = współczynnik jakości promieniowania.

Zgodnie z pierwszym prawem fotobiologii, pochłonięte przez daną substancję promieniowanie wywołuje w niej zmiany fizyczne lub chemiczne [9]. Aby określić dawkę promieniowania pochłoniętego, można posłużyć się oceną wizualną stanu skóry po jego zadziałaniu, która opiera się na określeniu minimalnej dawki rumieniowej MED (*Minimum Erythematous Dose*), czyli najmniejszej dawki promieniowania, która po 24 godzinach od

naświetlania wywoła wyraźny rumień skóry. W celu ujednoczenia wyników wprowadzono standardową dawkę erytemalną SED (*Standard Erythemat Dose*). 1 SED - to napromienienie równe  $100 \text{ J/m}^2$ , które jest rumieniowo skuteczne.

Dla pomiaru ilości biologicznie efektywnego słonecznego promieniowania ultrafioletowego w różnych miejscach na powierzchni Ziemi został opracowany, jako łatwy do zrozumienia, Globalny Wskaźnik UVI, wprowadzony z inicjatywy międzynarodowej organizacji WHO i stosowany od 1994 roku [10]. 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).

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 oraz tym krótszy powinien być czas przebywania na słońcu. Powinien być on podany jako średnia wartość z okresu czasu, co najmniej 30 minut. Powinna to być pojedyncza wartość, zaokrąglona do najbliższej liczby całkowitej.

### 1.2.1. Definicja Globalnego Indeksu UVI

Globalny indeks UVI, który można zmierzyć lub obliczyć, to ustandaryzowany sposób przedstawiania ilości promieniowania UV docierającego do Ziemi w określonym czasie i miejscu [10, 11]. Indeks 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). Indeks UVI jest to miara promieniowania UV, która jest wielkością bezwymiarową o wartościach całkowitych w zakresie od 0 do 16, dotycząca jego oddziaływania na skórę człowieka i wywołująca jej rumień.

Równanie do obliczenia indeksu 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 indeks UVI, zmierzony lub obliczony,
- $E_{\lambda}$  - oznacza intensywność widmową Słońca w  $[W/(m^2 \cdot nm^1)]$ , zmierzona lub obliczona przy długości fali  $\lambda$ ,
- $S_{er}(\lambda)$  - oznacza skuteczność rumieniową, przy długości fali  $\lambda$ ,
- $k_{er}$  - jest stałą, równą  $40 m^2/W$ .

Do obliczania indeksu UVI, którego wartość jest zależna m.in. od: (1) pory roku, (2) wysokości nad poziomem morza, (3) stopnia zacienienia, (4) pory dnia, (5) szerokości geograficznej, wykorzystywany jest:

- model komputerowy - odnoszący natężenie promieniowania nadfioletowego do: (1) wysokości nad poziomem morza, (2) ilości chmur, (3) poziomu ozonu, który wynika z grubości jego warstwy, (4) kąta nachylenia słońca,
- lub pomiary natężenia promieniowania UV.

Indeks UVI jest zdefiniowany jako efektywne natężenie promieniowania UV [12], otrzymane w wyniku całkowania natężenia promieniowania UV, pomnożonego przez parametr wagowy erytemelnej funkcji skuteczności widmowej do 400 nm, znormalizowane do 1, dla długości fali 297 nm.

Do ilościowego określenia promieniowania ultrafioletowego stosuje się różne wielkości i jednostki, w tym natężenie napromieniowania ultrafioletowego, wyrażone w  $[W/m^2]$ . Na podstawie równania (1), do obliczenia wskaźnika UVI, według artykułu autorstwa [13],  $UVIndex$  wyrażony jest iloczynem uśrednionego w czasie efektywnego biologicznie natężenia napromieniowania  $N_{Prom} [W/m^2]$  oraz współczynnika  $k_{er} = 40 m^2/W$ ,

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

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  $N_{Prom} = 0,1 W/m^2$



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

2. Jakie natężenia promieniowania  $N_{\text{Prom}}$  odpowiada indeksowi  $\text{UVI} = 1$

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

Zakres wartości Indeksu UVI rozciąga się od zera wzwyż [12], co pokazano w Tab. 1.

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

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

Table 1. UV radiation intensity ranges in UVI index units

Im wyższa wartość UVI, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia rumienia i poparzeń skóry i tym szybszy czas ich pojawienia się. Indeks UVI, o wartości 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 około południowych oraz w bezpośrednim Słońcu, promieniowanie ultrafioletowe przyjmuje wartości wysokiego (6-7) i bardzo wysokiego (8-10) UVI. Największe wartości UVI rejestrowane są w obszarze równikowym [14], co pokazano na poniższym Rys. 7.

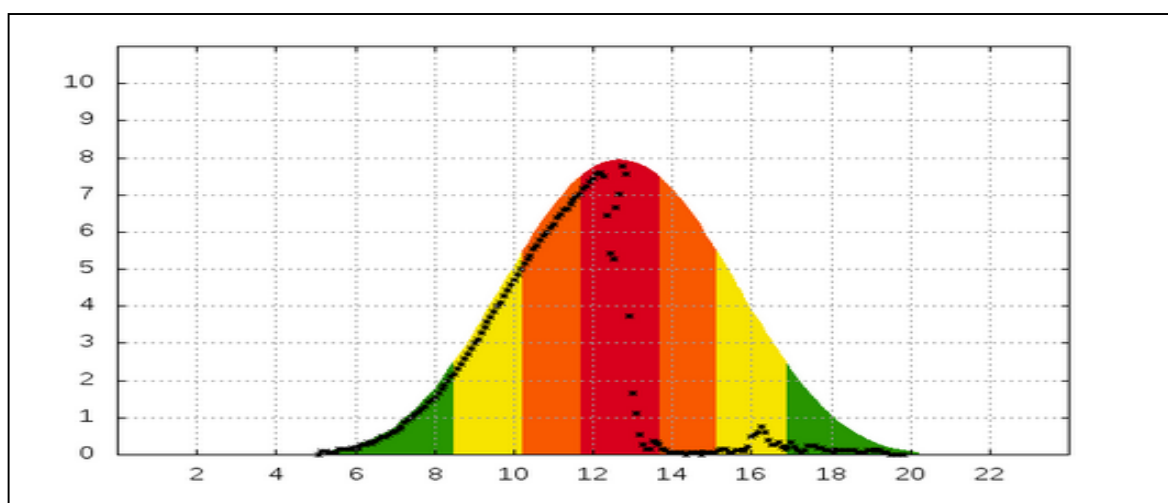


Rys. 7. UVI rejestrowane są w obszarze równikowym

Fig. 7. UVI are recorded in the equatorial area

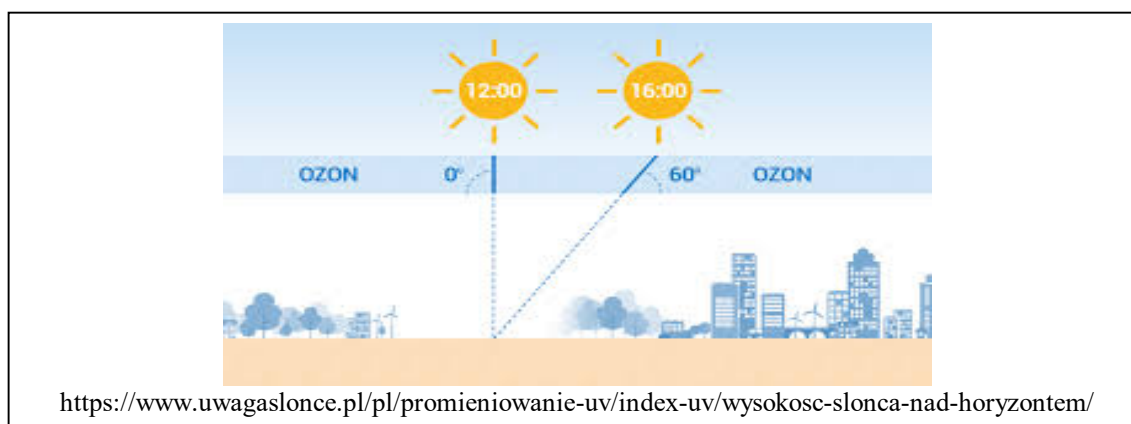
### 1.2.2. Intensywność promieniowania słonecznego

Ilość promieniowania ultrafioletowego UV Słońca docierająca do powierzchni Ziemi i związana z nią wartość indeksu UVI zależą od kilku czynników, z których najważniejsze to pora roku oraz pora dnia. Na tle prognozy ze stacji Zakopane, z 16 czerwca 2019, pomiar indeksu UVI, pokazany na Rys. 8, obrazuje redukcję promieniowania UV z wysokich wartości niemal do zera przez chmury burzowe [15]; czarne punkty oznaczają dane pomiarowe, kolorowe pola – prognozowane na ten dzień wartości indeksu UVI.



Rys. 8. Indeks UV, Zakopane, pomiar i prognoza  
 Fig. 8. UV index, Zakopane, measurement and forecast

Kąt padania promieni słonecznych ma bezpośredni wpływ na natężenie promieniowania UV, co pokazano na Rys. 9, które dociera do powierzchni ziemi.



Rys. 9. Wpływ kąta padania promieni słonecznych na natężenie promieniowania UV  
 Fig. 9. The influence of the angle of incidence of sunlight on the intensity of UV radiation

### 1.2.3. Monitoring promieniowania UV-B w Polsce

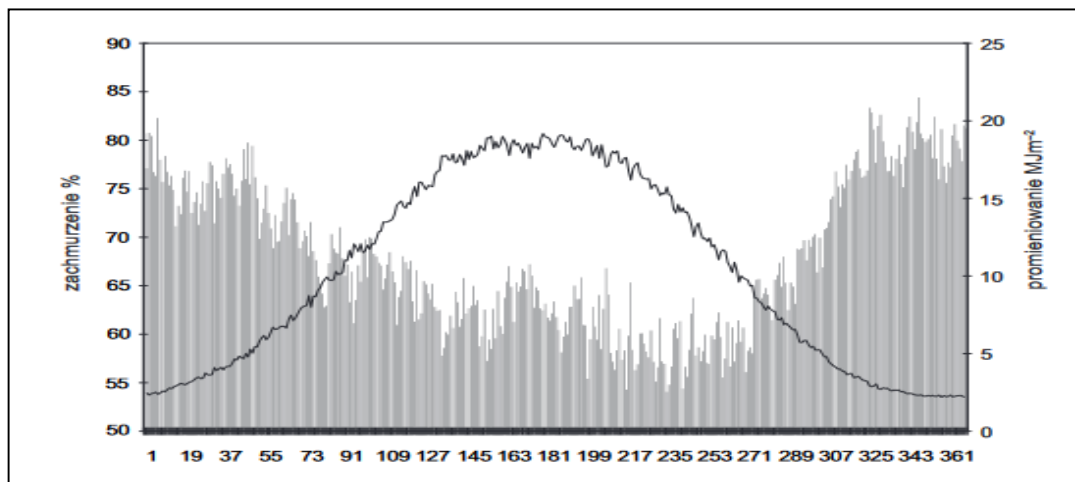
W Polsce, podobnie jak innych państwach, prowadzony jest ciągły pomiar natężenia promieniowania ultrafioletowego przez dwa centralne ośrodki badawcze [13]:

1. *Centralne Obserwatorium Geofizyczne Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk*, 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.

2. *Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery*, rejestrujący poziom UVB w Polsce, od połowy 1993 r. Z opublikowanych raportów wynika, że w 2015 r. najwyższą wartość indeksu UVI=9.5, zarejestrowano w lipcu w Zakopanem.

### 1.2.4. Czas naświetlania skóry człowieka

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię Ziemi jest sumą promieniowania przychodzącego od Słońca oraz promieniowania rozproszonego dochodzącego od całego nieboskłonu. Obserwowane na niebie zachmurzenie może się składać z chmur jednego rodzaju lub kilku rodzajów tworzących pewne układy i typy charakterystyczne dla sytuacji synoptycznej [16]. 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.



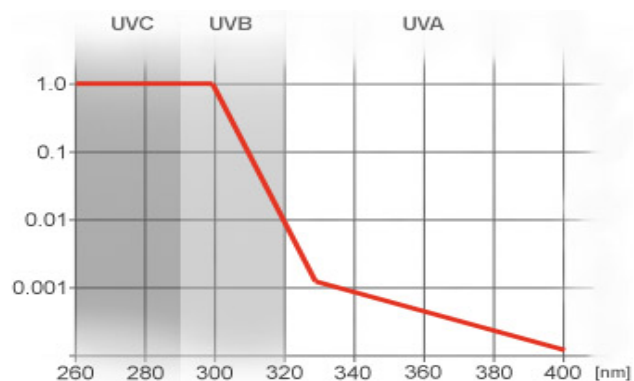
Rys. 10. Wpływ zachmurzenia na całkowite promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi

Fig. 10. The influence of cloud cover on the total solar radiation reaching the Earth's surface

Podczas naświetlania skóry człowieka promieniowaniem słonecznym, pasmo UVA nie powoduje widocznych i bolących oparzeń, ale przyczynia się do przyspieszenia procesu starzenia się skóry. Pasma UVB, poza negatywnym wpływem na zdrowie, jest dla ludzkiego organizmu bardzo ważne, gdyż odpowiada za syntezę w skórze witaminy D<sub>3</sub>, do której wyprodukowania, w słoneczny letni dzień, zalecanej dziennej dawki witaminy D<sub>3</sub>, wystarczy zaledwie kilkanaście minut ekspozycji na promieniowanie UV.

Czułość skóry człowieka na działanie promieni UV, czyli wrażliwość erytemiczna, bardzo silnie zależy od długości fali, a nie tylko od czasu naświetlania. Objawem zbyt dużej dawki jest zaczerwienienie lub oparzenie skóry [8], co pokazano na Rys. 11.

*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.*

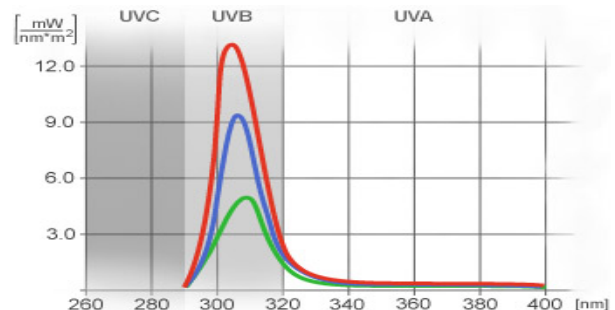


Rys. 11. Widmo wrażliwości erytemicznej skóry  $S_{er}(\lambda)$

Fig. 11. Erythemic skin sensitivity spectrum  $S_{er}(\lambda)$

Efektywne widmo UV, pokazane na Rys. 12, jest iloczynem widma wrażliwości erytemicznej skóry i widma promieniowania UV pochodzącego ze Słońca [8], które pokazuje, w jakim stopniu efekt poparzenia skóry zależy od długości fali UV.

*Efektywne widmo UV. Widać, że poparzenia słoneczne są wywoływane przez promieniowanie o długości fali między 300 a 320 nm. Zmiany grubości warstwy ozonowej drastycznie zwiększają niebezpieczeństwo poparzeń.*



Rys. 12. Efektywne widmo jest iloczynem widma wrażliwości erytemicznej skóry i widma promieniowania UV

Fig. 12. The effective spectrum is the product of the skin's erythemic sensitivity spectrum and the UV radiation spectrum

## 2. Metoda określenia czasu oraz dawek naświetlania skóry człowieka, w zależności od natężenia promieniowania UV

Jak napisano we wstępie tego artykułu, jego celem jest przedstawienie metody obliczania czasów oraz dawek naświetlania skóry ludzkiej, na podstawie pomiarów natężenia promieniowania ultrafioletowego UV. Podstawą tej metody jest wyprowadzenie, na podstawie przyjętych założeń, wzorów obliczeniowych czasu naświetlania  $T_{Naśw} = f(UV)$  oraz dawek naświetlania  $D = f(UV)$ , zależnych od natężenia promieniowania ultrafioletowego UV.

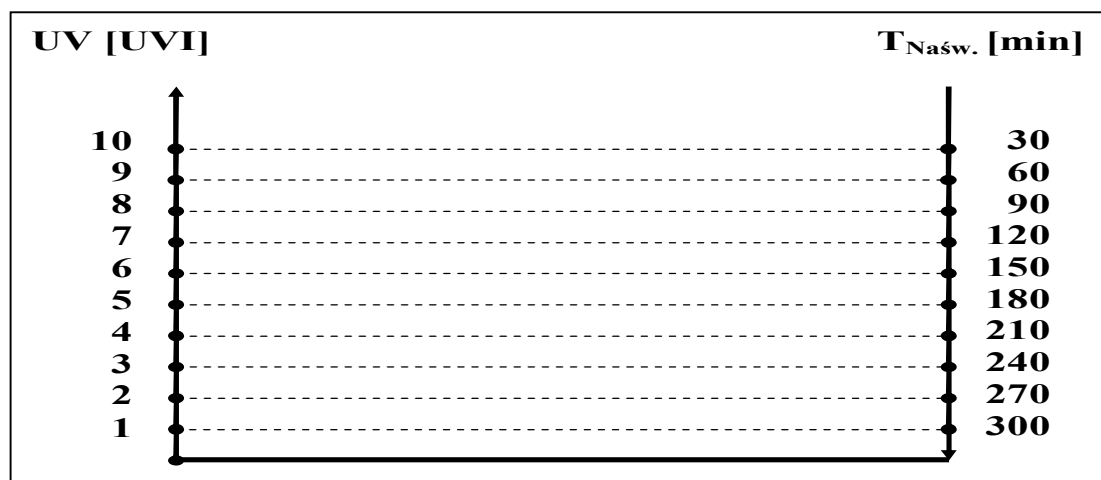
### 2.1. Wyprowadzenie wzoru ogólnego czasu naświetlania skóry człowieka $T_{naśw}=f(UV)$ , w zależności od natężenia promieniowania UV

Na czas naświetlania skóry człowieka wpływ mają grupy rodzajów skóry, tzw. fototypy. Główne fototypy występujące w Polsce, wraz z czasem naświetlania, to: (1) celtycki, (2) północnoamerykański, (3) środkowoeuropejski, (4) południowoeuropejski. 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 [14, 17]. Niestety w tych artykułach oraz innych dostępnych w Internecie nie określono, jakie powinno być natężenie UVI podczas 30 minutowego naświetlania. Jak wcześniej wspomniano, z opublikowanych raportów Warszawskiego Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, w 2015 r. najwyższą wartość indeksu UVI, zarejestrowano w lipcu w Zakopanem [13], jest poziom promieniowania UV na poziomie 9.5 UVI. W celu realizacji metody obliczeniowej w zakresie obliczania czasu oraz dawek naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV, przyjęto dodatkowe poniższe założenie:

*Odsłanianie ludzkiego ciała, średnio do 30 minut, ma miejsce w okresie, kiedy pomiar maksymalnego natężenie promieniowania ultrafioletowego wykonano w połowie roku, w dniu przesilenia letniego, w słoneczne południe wynosi 10 UVI*

Na podstawie powyższych informacji oraz dodatkowego założenia, wynika, że Maksymalna Dawka Naświetlenia, w ciągu 30 minut, wynosi:  $MDN_{30} = 10 \text{ UVI} \times 30 \text{ min} = 300 \text{ Im}$  oraz  $MDN_{60} = 600 \text{ Im}$ , gdzie "Im" to "Indekso-minuty".

Na poniższym Rys. 13, przedstawiona jest zależność czasu naświetlania  $T_{Naśw}$  od indeksu UVI promieniowania UV.



Rys. 13. Zależność czasu naświetlania  $T_{Naśw}$  od indeksu UVI promieniowania UV

Fig. 13. Dependence of exposure time  $T_{Naśw}$  on the UVI index of UV radiation

### 2.1.1. Wyprowadzenie wzoru szczegółowego funkcji liniowej $T_{Naśw} = f(UV)$

Na podstawie Rys. 13 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**.

$$\begin{cases} y_1 = y(1) = 300 = -a * 1 + b \\ y_{10} = y(10) = 30 = -a * 10 + b \end{cases}$$

Po rozwiązaniu powyższego układu równań, otrzymujemy:

$$\text{współczynnik: } a = 30$$

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

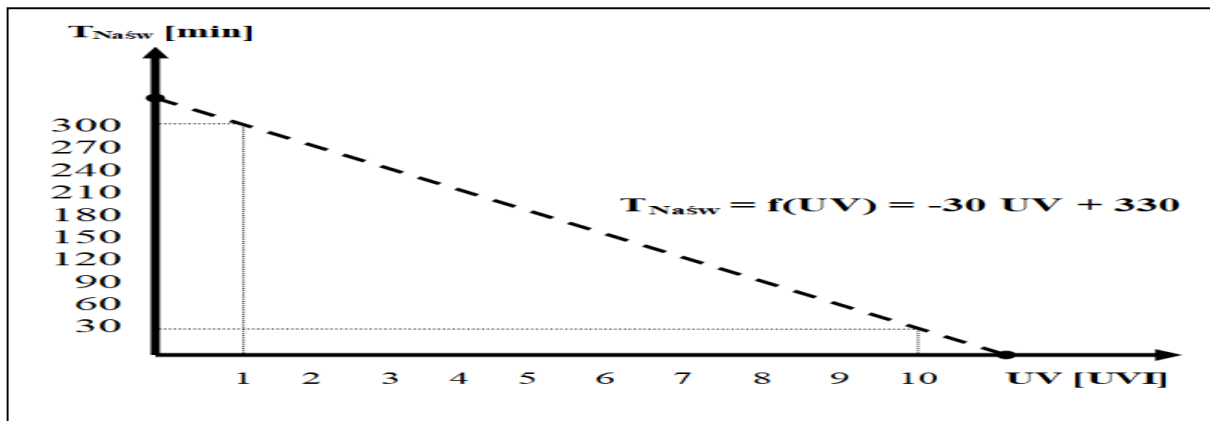
zatem funkcja liniowa ma postać:  $y(x) = -30 * x + 330$

Ostatecznie,

$$T_{Naśw} = f(UV) = -30 UV + 330$$

(1)

Wykres tej funkcji  $T_{Naśw} = f(UV)$  pokazano na poniższym Rys. 14.



Rys. 14. Funkcja  $T_{Naśw} = f(UV)$  określająca zależność czasu naświetlania od natężenia promieniowania ultrafioletowego UV

Fig. 14.  $T_{Naśw} = f(UV)$  function determining the dependence of exposure time on the intensity of ultraviolet UV radiation

### 2.1.2. Wyprowadzenie wzoru ogólnego na obliczanie czasu naświetlania $T_{Naśw} = f(UV)$

Do wyprowadzenia wzoru ogólnego na obliczanie czasu naświetlania, posłużono się parametrem  $M = \text{Max}(UV)$ , czyli maksymalnym natężeniem promieniowania UV, w dniu przesilenia letniego, w słoneczne południe, co pokazano na Rys. 13, Rys. 14. Mamy zatem wkład do układu dwóch równań, o następującej postaci:

$$\begin{cases} y_1 = y(x_1=1) = 300 = -a * 1 + b \\ y_{10} = y(x_{10}=M) = 30 = -a * M + b \end{cases}$$

Po rozwiązaniu powyższego układu równań, otrzymujemy:

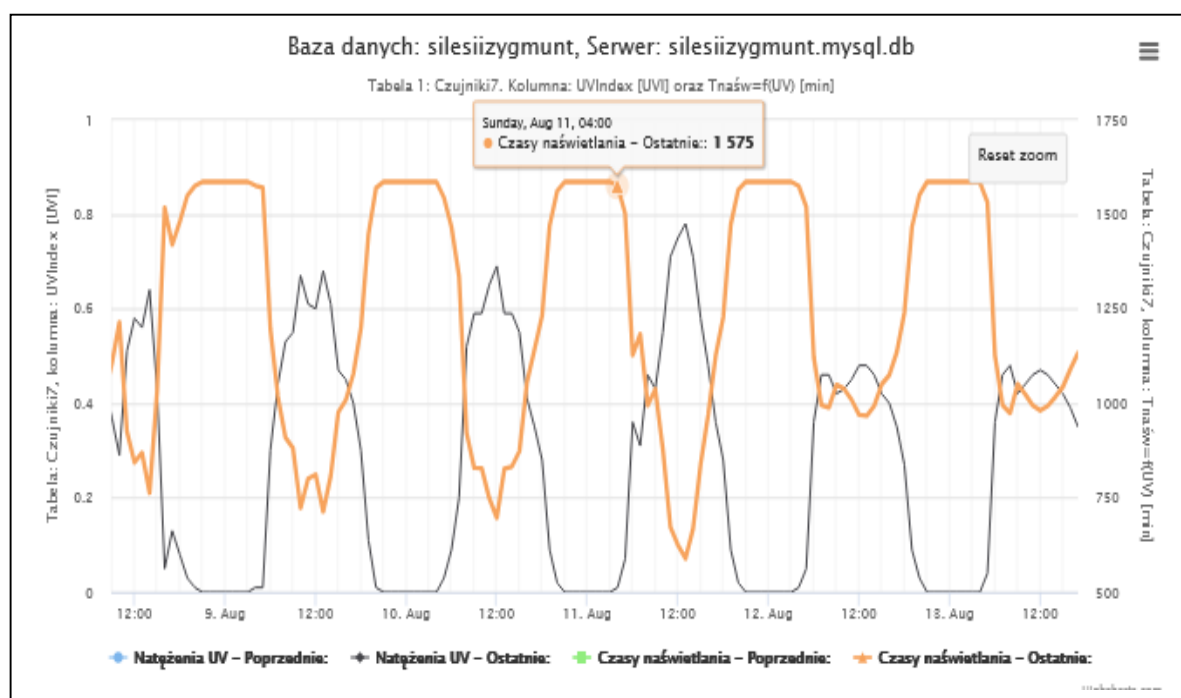
$$\text{współczynnik: } a = 270/(M-1)$$

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

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

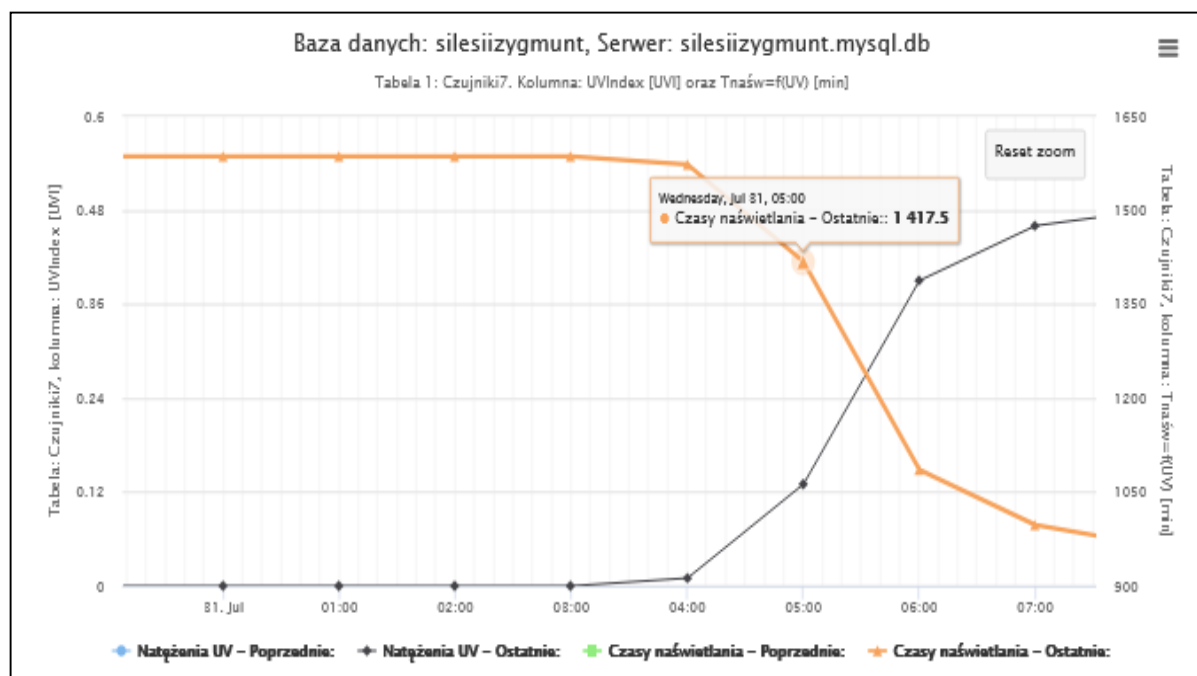
$$\text{ostatecznie: } \boxed{T_{Naśw} = f(UV) = 300 - 270 * (UV - 1) / (M - 1)} \quad (2)$$

Korzystając z powyższego wzoru na obliczenie czasu naświetlania  $T_{Naśw} = f(UV)$ , na podstawie pomiarów indeksu UVI, w czasie wyświetlania wykresu, w sposób dynamiczny obliczano, odpowiadający pomiarom natężenia, czas naświetlania skóry człowieka, co pokazano na poniższych rysunkach Rys.15 oraz Rys. 16.



Rys. 15. Czas naświetlania skóry człowieka, na podstawie natężenia UV - wykresy natężenia UV oraz czasów naświetlania z kilku dni

Fig. 15 Exposure time of human skin, based on UV intensity - graphs of UV intensity and exposure times for several days



Rys. 16. Czas naświetlania skóry człowieka, na podstawie natężenia UV - wykresy natężenia UV oraz czasów naświetlania z kilku godzin

Fig. 16 Exposure time of human skin, based on UV intensity - graphs of UV intensity and exposure times for several hours



## 2.2. Wyprowadzenie wzoru ogólnego na obliczanie dawki naświetlania skóry człowieka $D_I = f(UV)$ , w zależności od natężenia promieniowania UV

### 2.2.1. Definicja dawki naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV

Podstawą do wyprowadzenia wzoru ogólnego dla obliczania dawki naświetlania skóry człowieka, na podstawie indeksu promieniowania UV są:

1. Definicja dawki naświetlania promieniowaniem UV:

$$\text{Dawka\_naświetlania\_UV} = (\text{Moc\_Promieniowania\_UV}) \times \text{czas}$$

2. Ogólny wzór czasu naświetlania  $T_{Naśw}$  skóry człowieka, wyprowadzony w rozdziale 2.1.2.:

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

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

3. Ogólna funkcja  $f(UV, T_{Naśw})$ , będąca iloczynem pomiarów indeksów promieniowania UV i czasów naświetlania  $T_{Naśw}$ :

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, na podstawie wykresów natężenia promieniowania UV oraz czasów naświetleń  $T_{Naśw}$ , zdefiniowano wykres funkcji  $f(UV, T_{Naśw})$ :

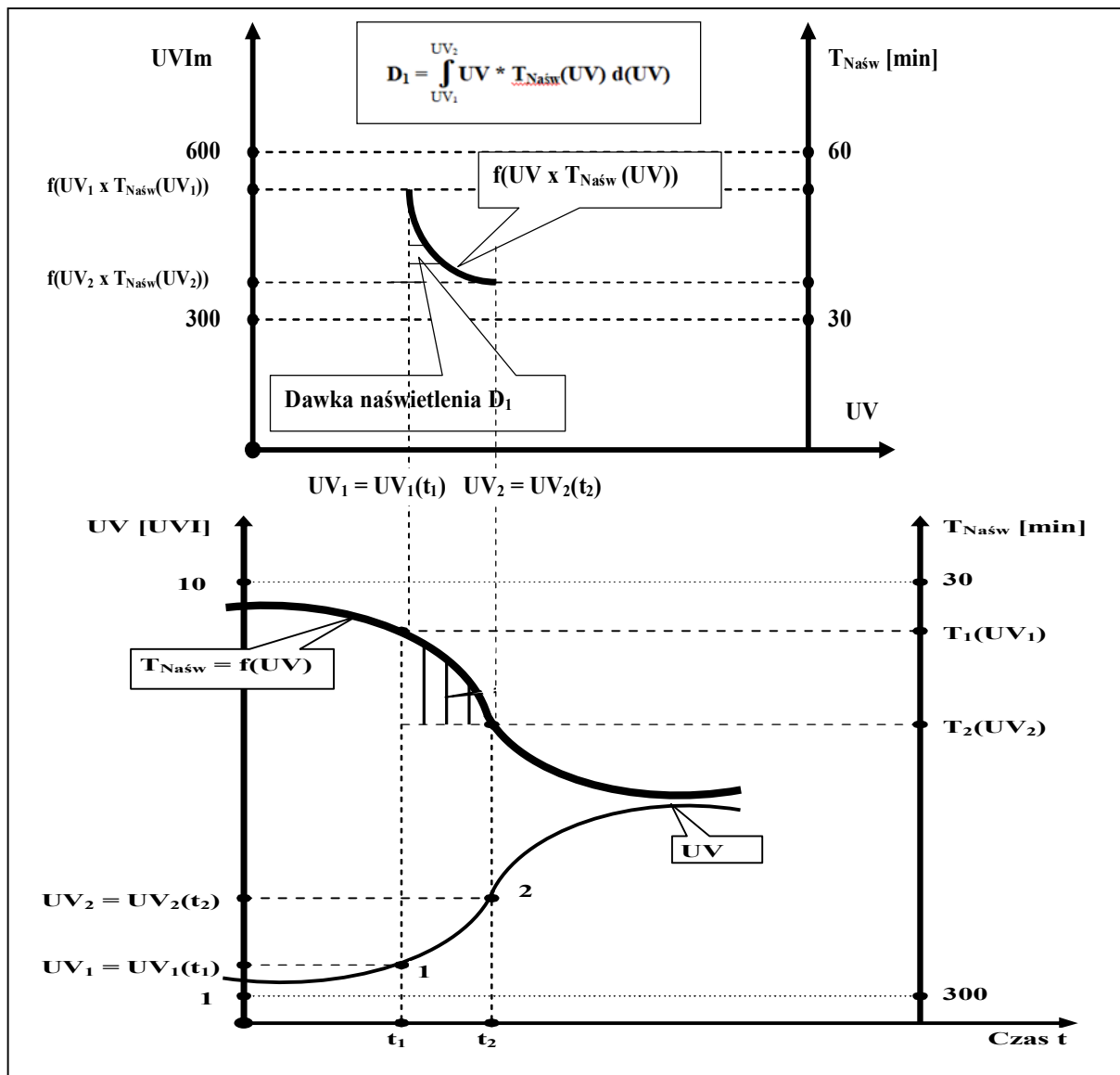
$$f(UV, T_{Naśw}) = UV \times T_{Naśw}(UV)$$

będącej iloczynem pomiarów indeksów promieniowania UV i czasów naświetlania  $T_{Naśw} = f(UV)$ , gdzie:

$UV$  - indeks natężenia promieniowania ultrafioletowego

$T_{Naśw}(UV)$  - czas naświetlania promieniowaniem UV

Wykres funkcji  $f(UV, T_{Naśw}(UV))$  pokazano, w górnej części, na poniższym Rys. 17.

Rys. 17. Dawka naświetlenia  $D_1$  skóry człowiekaFig. 17. Irradiation dose  $D_1$  of human skin

#### 4. Definicja dawki $D_1$ naświetlenia skóry człowieka promieniowniem UV:

Na podstawie powyższych informacji, czyli: *definicji dawki promieniownia, ogólnego wzoru czasu naświetlenia, ogólnej funkcji  $f(UV, T_{Naśw})$*  oraz informacji zawartych na Rys. 17, w zależności od indeksu promieniowania UV, dawka  $D_1$  naświetlenia skóry człowieka jest równa obszarowi pod wykresem funkcji  $f(UV, T_{Naśw}(UV)) = UV \times T_{Naśw}(UV)$ , od punktu  $UV_1 = UV_1(t_1)$  do punktu  $UV_2 = UV_2(t_2)$ .

Tak więc, definicja dawki naświetlania  $D_1$  skóry człowieka jest następująca:

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

czyli:

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

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

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

Ostatecznie:

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

Po przesunięciu układu współrzędnych, na Rys. 17, do punktu (1), mamy  $t_1=0$ ,  $UV_1(t_1) = 0$ , zatem otrzymujemy końcowy wzór na dawkę naświetlania skóry człowieka  $D_1$ :

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

### 2.3. Obliczenie teoretycznych dawek naświetlania w zależności od natężenia promieniowania UV

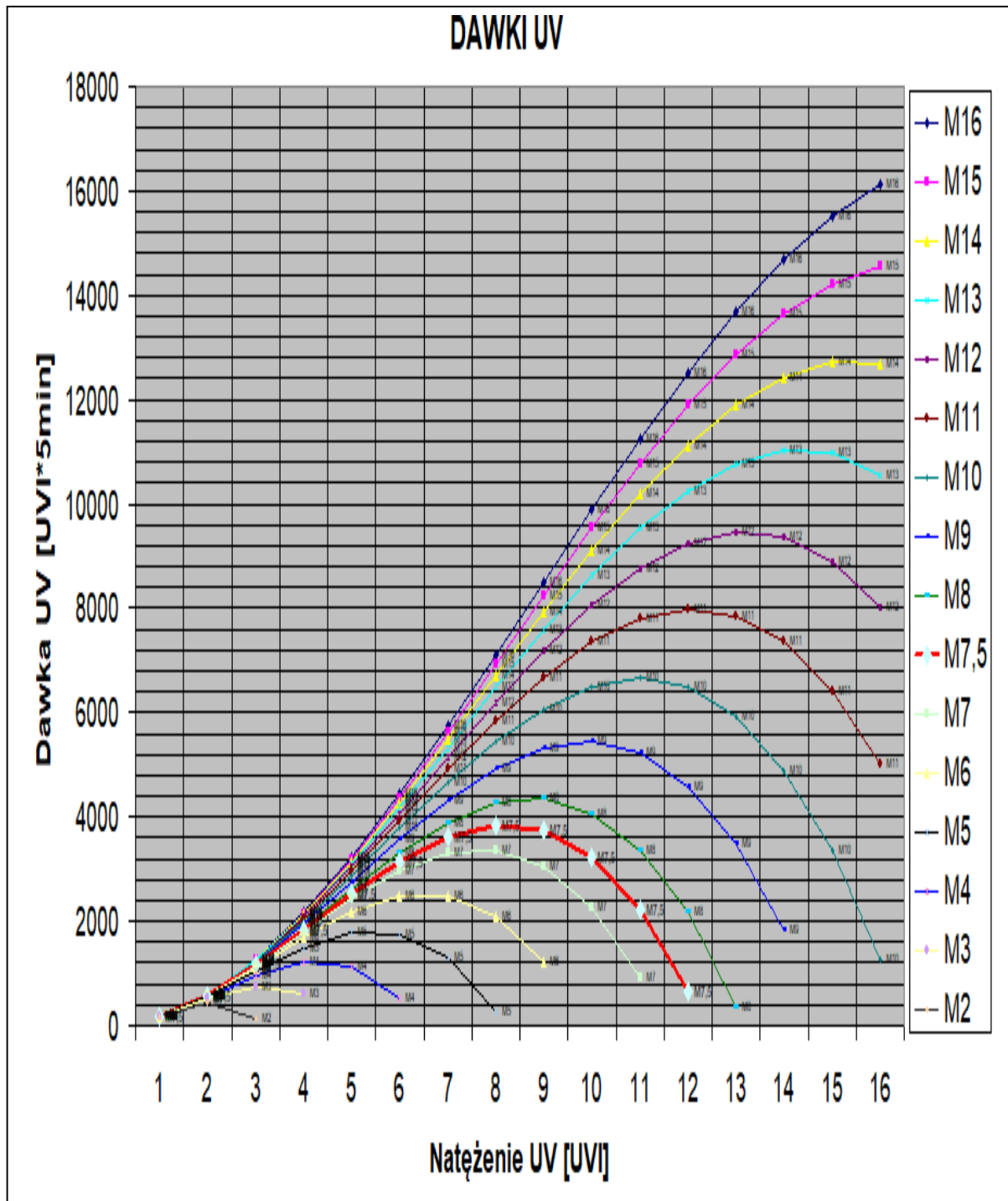
Na podstawie wyprowadzonego wzoru (8), służącego do obliczania dawki naświetlania  $D_I$  skóry człowieka, w poniższej tabeli Tab. 2, obliczono teoretyczne wartości dawek naświetlania, w zależności od wartości natężenia promieniowania UV.

<b>DAWKI UV = <math>\int UV * T_{naśw.}(UV) d(UV)</math></b>																
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 $T_{naśw.}(UV) = (300 - 270 \cdot (UV-1)) / (M-1)$																
$DAWKI UV = ((150 \cdot M - 15) \cdot UV \cdot UV - 90 \cdot UV \cdot UV \cdot UV) / (M-1)$																
<b>M = MaxUV</b>	<b>UV</b>															
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. 2. Teoretyczne dawki naświetlania

Tab. 2. Theoretical doses of radiation

Na podstawie obliczonych teoretycznych dawek naświetlania, pokazanych w Tab. 2, w zależności od natężenia promieniowania UV, na poniższym Rys. 18 przedstawiono teoretyczne wykresy dawek naświetlania UV, w zależności od poziomu  $M = \text{Max}(UV)$ .



Rys. 18. Teoretyczne wykresy dawek naświetlania w zależności od: natężenia UV oraz  $M = \text{Max}(UV)$

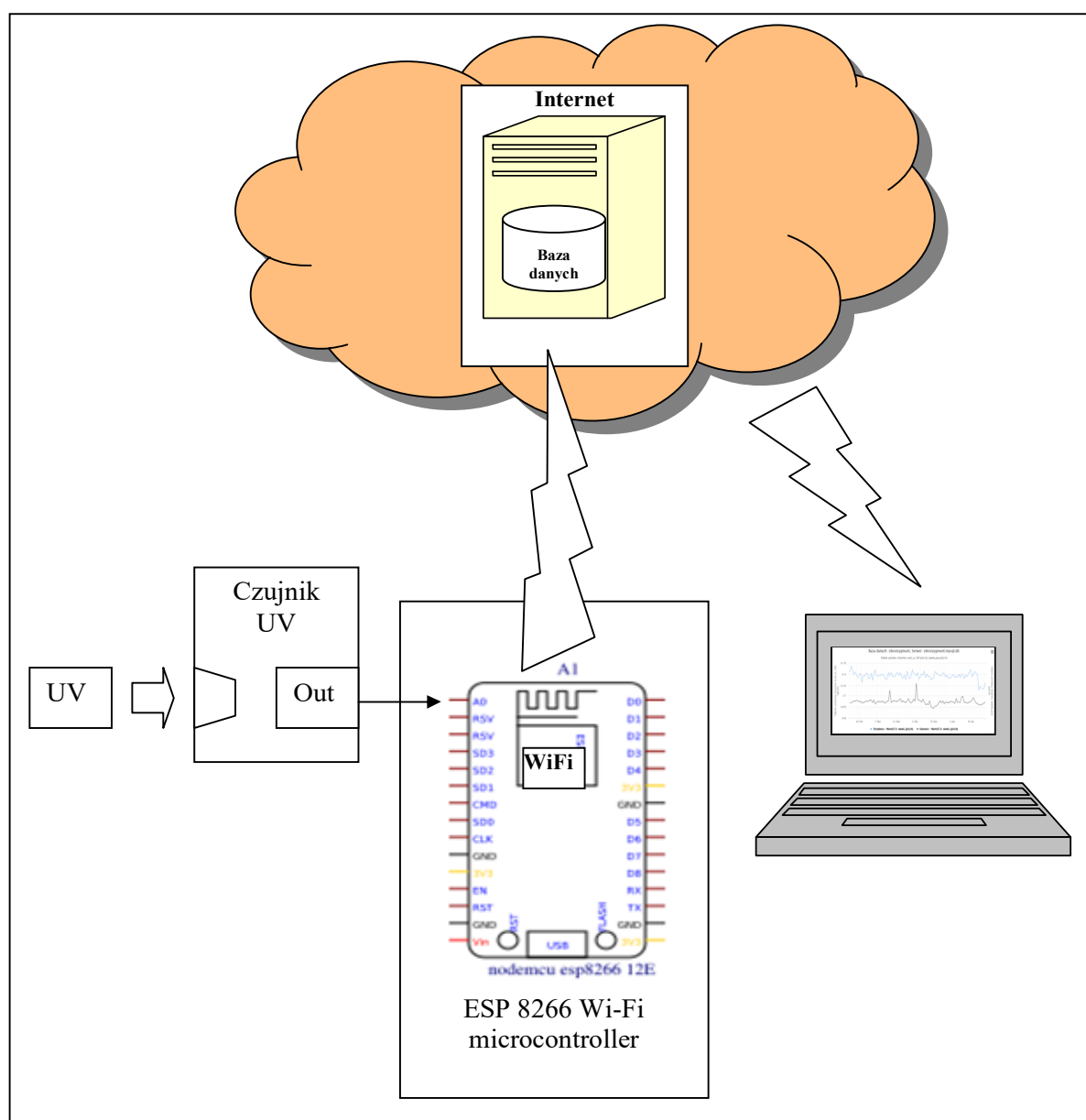
Fig. 18. Theoretical charts of radiation doses depending on: UV intensity and  $M = \text{Max}(UV)$

## 2.4. Pomiary natężenia promieniowania nadfioletowego UV

W celu realizacji metody pomiarów czasów naświetlania oraz dawek naświetlania dla skóry ludzkiej, na podstawie pomiarów indeksów UVI promieniowania ultrafioletowego UV, w niniejszej pracy korzystano z amatorskiego przyrządu promieniowania UV [18].

### 2.4.1. Schemat logiczny amatorskiego przyrządu pomiarowego promieniowania UV.

Na poniższym Rys. 19, przedstawiono schemat logiczny amatorskiego przyrządu pomiarowego promieniowania UV.



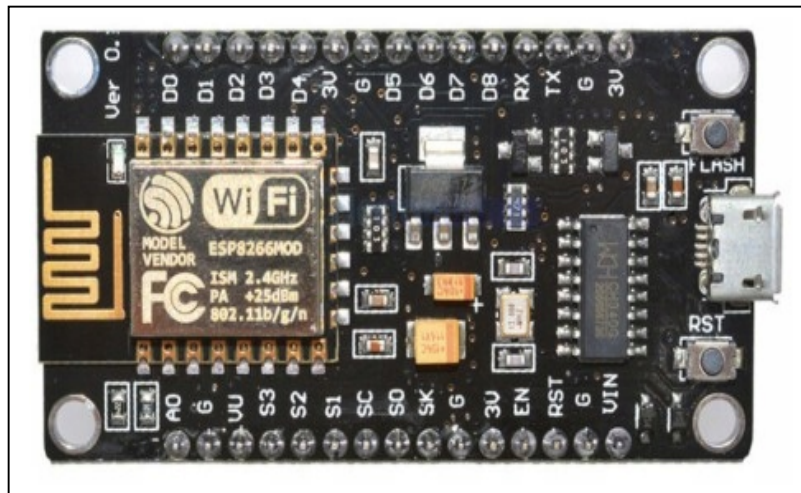
Rys. 19. Schemat logiczny amatorskiego przyrządu pomiarowego promieniowania UV

Fig. 19. Logical diagram of an amateur UV radiation measuring device

## 2.4.2. Moduły składowe przyrządu pomiarowego UV

### 2.4.2.1. Mikrokomputer Mikrobot, Moduł WIFI ESP8266, NodeMCU V3

Moduł *WiFi ESP8266 + NodeMCU V3* - to wszechstronny mikrokontroler oparty na układzie *ESP8266*, który pokazano na Rys. 20. Umożliwia prostą realizację projektów na platformie *Arduino*, *MicroPython*, *Lua*. Dzięki kompaktowym rozmiarom i wbudowanemu *WiFi*, jest idealny do tworzenia systemów z zdalnym monitorowaniem urządzeń.

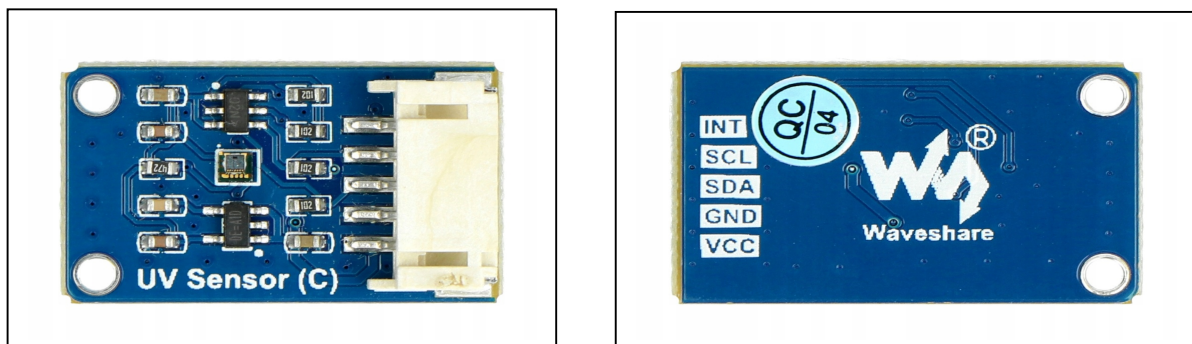


Rys. 20. Mikrokontroler oparty na module *WiFi ESP8266* oraz *NodeMCU V3*

Fig. 20. Microcontroller based on the *ESP8266 WiFi* module and *NodeMCU V3*

### 2.4.2.2. Czujnik światła ultrafioletowego UV - LTR390-UV I2C

Czujnik światła ultrafioletowego *UV - LTR390-UV I2C*, pokazany na Rys. 21, przeznaczony jest do pomiaru promieniowania ultrafioletowego i światła widzialnego.



Rys. 21. Moduł z cyfrowym czujnikiem UV wyposażonego w układ *LTR390*

Fig. 21. Module with a digital UV sensor equipped with the *LTR390* system

Charakteryzuje się wysoką czułością i szybką reakcją. Pozwala na łatwą integrację z innymi urządzeniami. Umożliwia pomiar promieniowania o długości fali w zakresie od 280-430 nm.

### 2.4.3. Prezentowanie wyników pomiarów na komputerze użytkownika

Pomiary promieniowania UV, z pomocą amatorskiego przyrządu pomiarowego, dokonywane są za pomocą czujnika *LTR390*, a następnie, za pomocą sieci *Wi-Fi* oraz sieci komputerowej, w pierwszym etapie przekazywane są do tabeli bazy danych, znajdującej się na internetowym serwerze bazodanowym. W drugim etapie, za pomocą oprogramowania zapisanego w plikach typu \*.php, na komputerze użytkownika korzystającego z przeglądarki internetowej, pobierane są z tej bazy danych wyniki z pomiarami, a następnie w trakcie wyświetlania ich wykresów są dynamicznie obliczane czasy oraz dawki naświetleń.

Podstawą do wyświetlania wykresów dynamicznych jest pakiet oprogramowania "*Highcharts-10.3.2*". *Highcharts*, to biblioteka oprogramowania do tworzenia wykresów, napisana w języku *JavaScript* (<https://www.highcharts.com/>).

Podstawowe pliki tej biblioteki są następujące:

```
<script src="code/highcharts.js"></script>
<script src="code/modules/boost.js"></script>
<script src="code/modules/exporting.js"></script>
<script src="code/modules/accessibility.js"></script>
```

W zależności od ilości wyświetlanych na wykresie serii wyników pomiarowych, w pierwszym kroku, w pliku typu \*.php, definiowane są właściwe polecenia SELECT:

```
<?php
//-----WYKRESY SERII POMIAROWYCH -----
//----- Indeks UVI -----
//----- l seria -----
$tabela_1='Czujniki5';

$kol_11='data';      $nazwa_11='Data';      $jedm_11='[]';   $opis_11='[]';
$kol_12='UVIndex';  $nazwa_12='Natężenie UV';  $jedm_12='[UVI]'; $opis_12='Natężenia UV - Poprzednie: ';
$kol_13='UVIndex';  $nazwa_13='Natężenie UV';  $jedm_13='[UVI]'; $opis_13='Natężenia UV - Ostatnie: ';

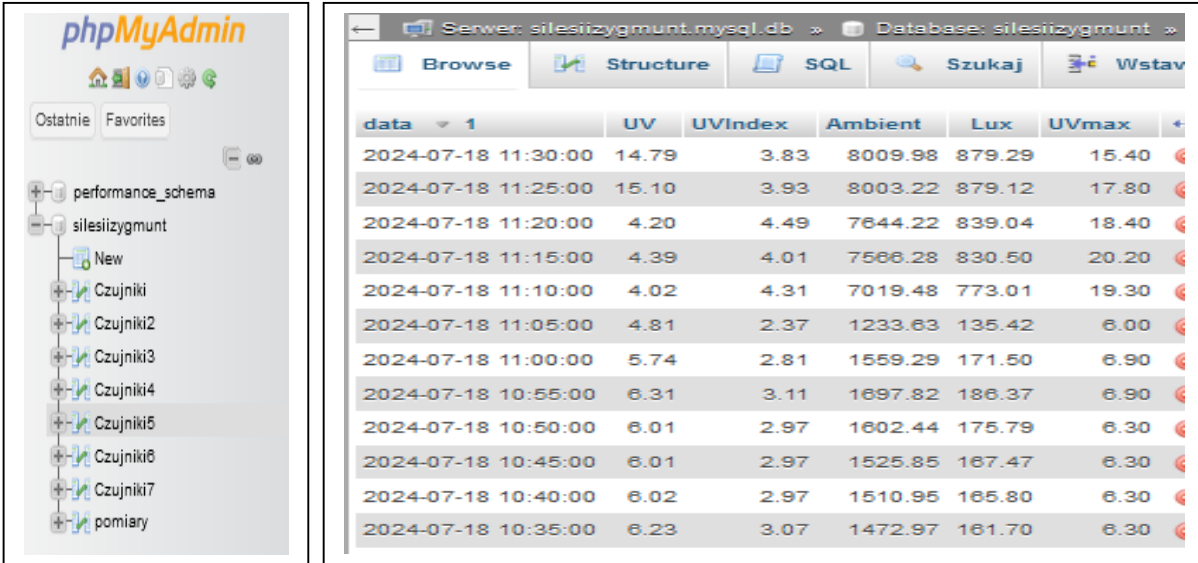
$Natezenie_Dawki_Pomiarowe="ROUND((AVG($kol_13)), 2)";
$okresOd0=date('YmdHis', $USEkundy - $delta);
$okresOd1=date('YmdHis', $USEkundy-$delta-$delta); // -1 dzień lub tydzień lub miesiąc, pomniejszone o dzień , tydzień, miesiąc
$query_Recordset1 = "SELECT floor(UNIX_TIMESTAMP($kol_11)/$Wsp)*$Wsp, $Natezenie_Dawki_Pomiarowe
                    FROM $tabela_1
                    WHERE $kol_13<>-888 AND $kol_13>=0 AND $kol_11 between $okresOd1 and $okresOd0
                    GROUP BY 1
                    ORDER BY $kol_11";
```

W drugim kroku wyznaczane są wszystkie dane oraz parametry, które niezbędne są do wyświetlenia wykresu(ów), a w trzecim kroku przekazywane są do procedury wyświetlającej wykresy - *Highcharts.chart('container', { ... })*.



## 2.5. Pomiary indeksów UVI oraz czasów i dawek naświetleń promieniowaniem UV

Jak opisano w paragrafie 2.4.1. "Schemat logiczny amatorskiego przyrządu pomiarowego promieniowania UV", pomiary promieniowania UV z pomocą amatorskiego przyrządu pomiarowego, dokonywane są za pomocą czujnika *LTR390*, co 5 min, a następnie za pomocą sieci *Wi-Fi* oraz sieci komputerowej przekazywane są do tabeli bazy danych, pokazanej na poniższym Rys. 22, znajdującej się na internetowym serwerze bazodanowym firmy OVH.



data	UV	UVIndex	Ambient	Lux	UVmax
2024-07-18 11:30:00	14.79	3.83	8009.98	879.29	15.40
2024-07-18 11:25:00	15.10	3.93	8003.22	879.12	17.80
2024-07-18 11:20:00	4.20	4.49	7644.22	839.04	18.40
2024-07-18 11:15:00	4.39	4.01	7568.28	830.50	20.20
2024-07-18 11:10:00	4.02	4.31	7019.48	773.01	19.30
2024-07-18 11:05:00	4.81	2.37	1233.63	135.42	6.00
2024-07-18 11:00:00	5.74	2.81	1559.29	171.50	6.90
2024-07-18 10:55:00	6.31	3.11	1697.82	186.37	6.90
2024-07-18 10:50:00	6.01	2.97	1602.44	175.79	6.30
2024-07-18 10:45:00	6.01	2.97	1525.85	167.47	6.30
2024-07-18 10:40:00	6.02	2.97	1510.95	165.80	6.30
2024-07-18 10:35:00	6.23	3.07	1472.97	161.70	6.30

Rys. 22. Tabela "Czujniki5" z pomiarami *UVIndex*, za pomocą czujnika *LTR390*

Fig. 22. Table "Czujniki5" with *UVIndex* measurements, using the *LTR390* sensor

Z tej tabeli "Czujniki5", zawierającej w kolumnie *UVIndex* pomiary *UVI*, za pomocą oprogramowania zapisanego w plikach typu \*.php, pobierane są dane z pomiarami indeksu *UVI*, w określonym czasie, a następnie obliczane są czasy oraz dawki naświetleń. W celu wyświetlenia dynamicznego wykresu dawek naświetleń, pokazanych poniżej, korzysta się z SQL-owej komendy *SELECT*.

```
//----- DAWKI UV -----
$okresOd0=date('YmdHis',$USEkundy - $delta);
$okresOd1=date('YmdHis',$USEkundy-$delta-$delta);

$Dawki_Pomiarowe_UV = "ROUND((((150$M-15)*($kol_13*$kol_13) - 90*($kol_13*$kol_13*$kol_13))/($M-1))/5,0)";

$query_Recordset3 = "SELECT floor(UNIX_TIMESTAMP($kol_11)/$Wsp)*$Wsp, $Dawki_Pomiarowe_UV
                    FROM $tabela_1
                    WHERE $kol_13<>-888 AND $kol_13>=0 AND $kol_11 between $okresOd1 and $okresOd0
                    GROUP BY 1
                    ORDER BY $kol_11";
```

W celu wyświetlania dawek naświetleń  $D_t$ , dla określonej godziny, pokazanych poniżej, skorzystano z poniższej SQL-owej komendy SELECT:

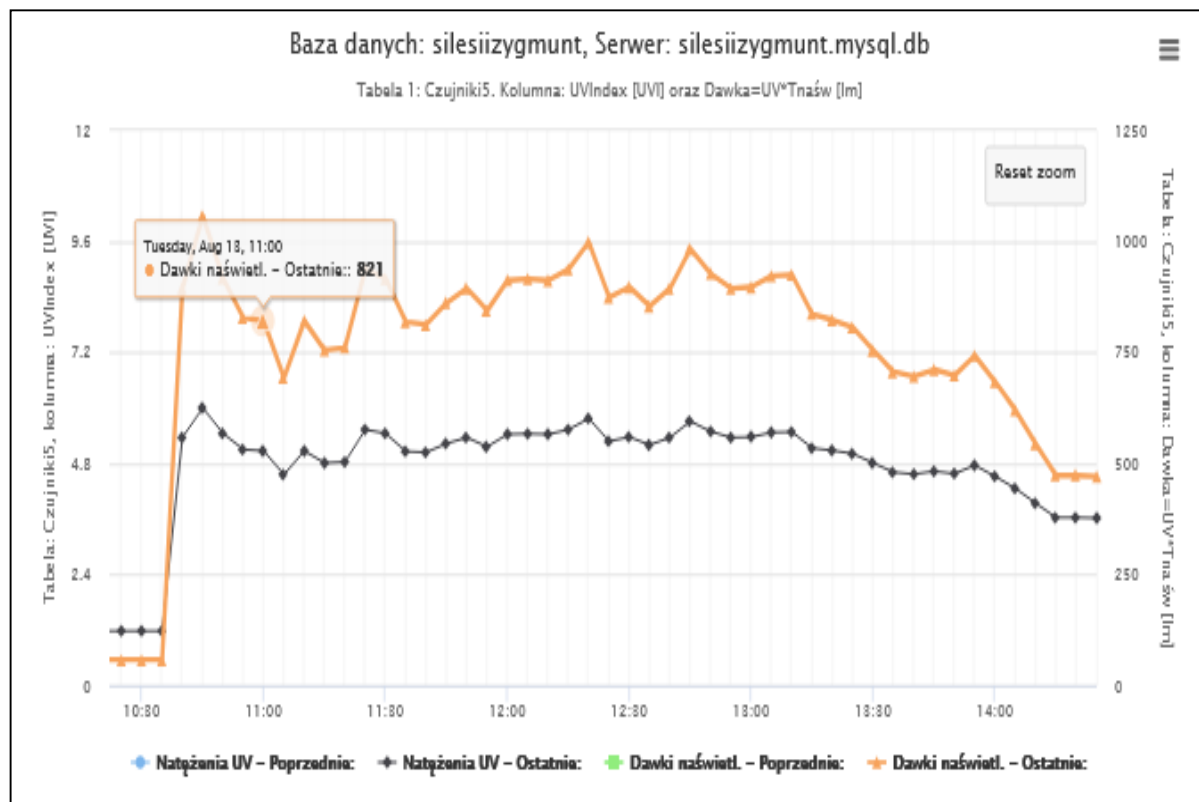
```

//----- Dawki od 09-10 -----
$CzasPomiaru_calk = 5; //min.
$DataCzas_Od_09 = "$data 09";
$DataCzas_Do_10 = "$data 10";
$Dawki_calkowe = "FORMAT(AVG((((150*$M-15)*($kol_13*$kol_13)-90*($kol_13*$kol_13*$kol_13))/($M-1)))/$CzasPomiaru_calk, 0)";

$mysqli_Recordset200_query="SELECT left($kol_11,13),
                                $Dawki_calkowe AS Dawka_calk_09_10
                                FROM $tabela_1
                                WHERE $kol_13<>-888 AND $kol_13>=0
                                AND $kol_11 between '$DataCzas_Od_09' AND '$DataCzas_Do_10'
                                GROUP BY 1
                                ORDER BY $kol_11";

```

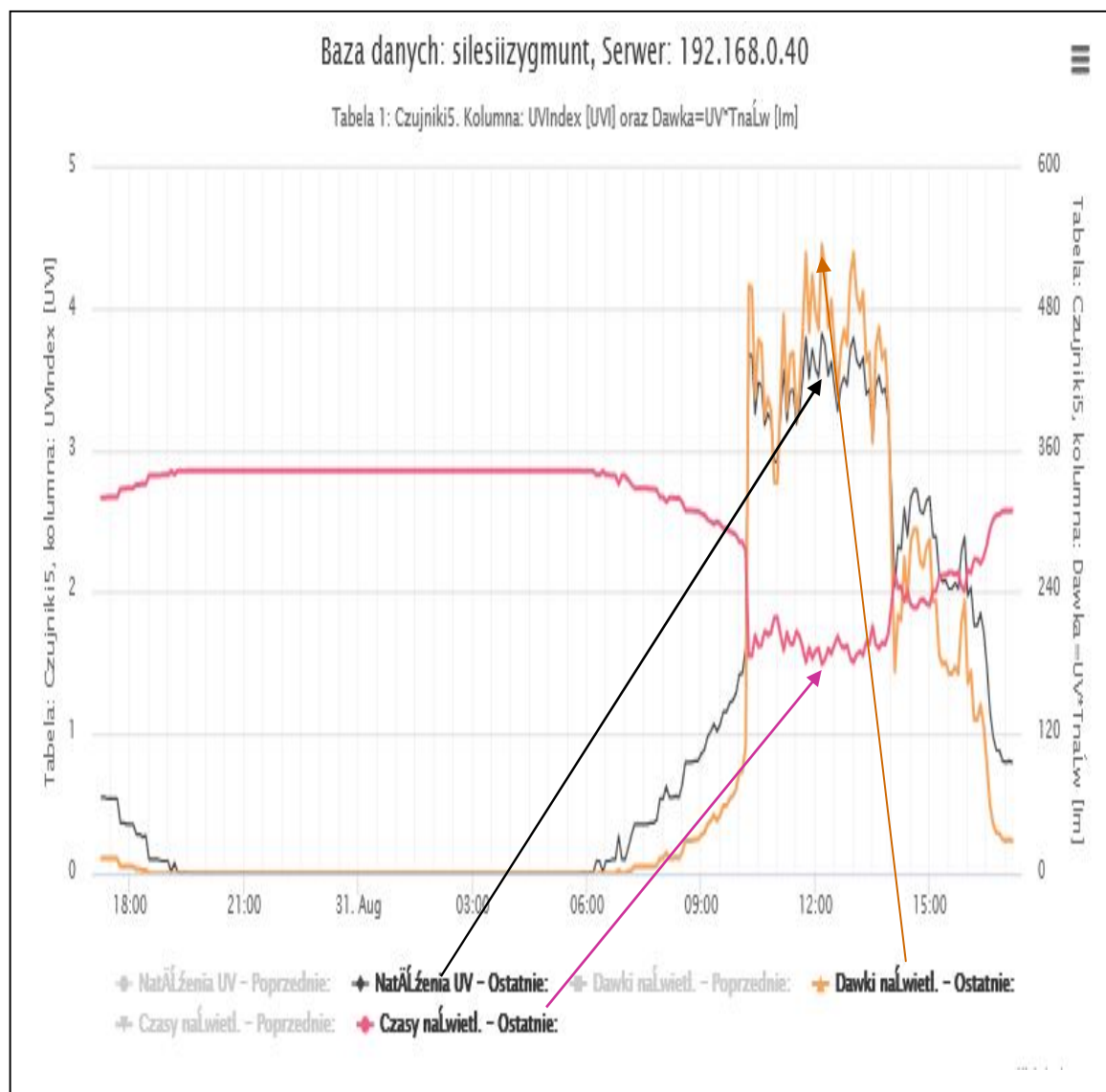
Korzystając ze wzoru (8), na podstawie pomiarów natężenia promieniowania UV, w czasie wyświetlania wykresu na stronie internetowej, w sposób dynamiczny obliczano, odpowiadające pomiarom indeksu UVI, dawki naświetlania skóry człowieka, co pokazano na poniższym Rys. 23.



Rys. 23. Dynamiczny wykres dawek naświetlania, na podstawie pomiarów UV

Fig. 23. Dynamic graph of irradiation doses, based on UV measurements

Na poniższym Rys. 24, przedstawiono wykres pomiarów indeksów UVI, jak również dynamicznie obliczonych czasów  $T_{Naśw} = f(UV)$  oraz dawek naświetleń  $D_I = f(UV)$ .

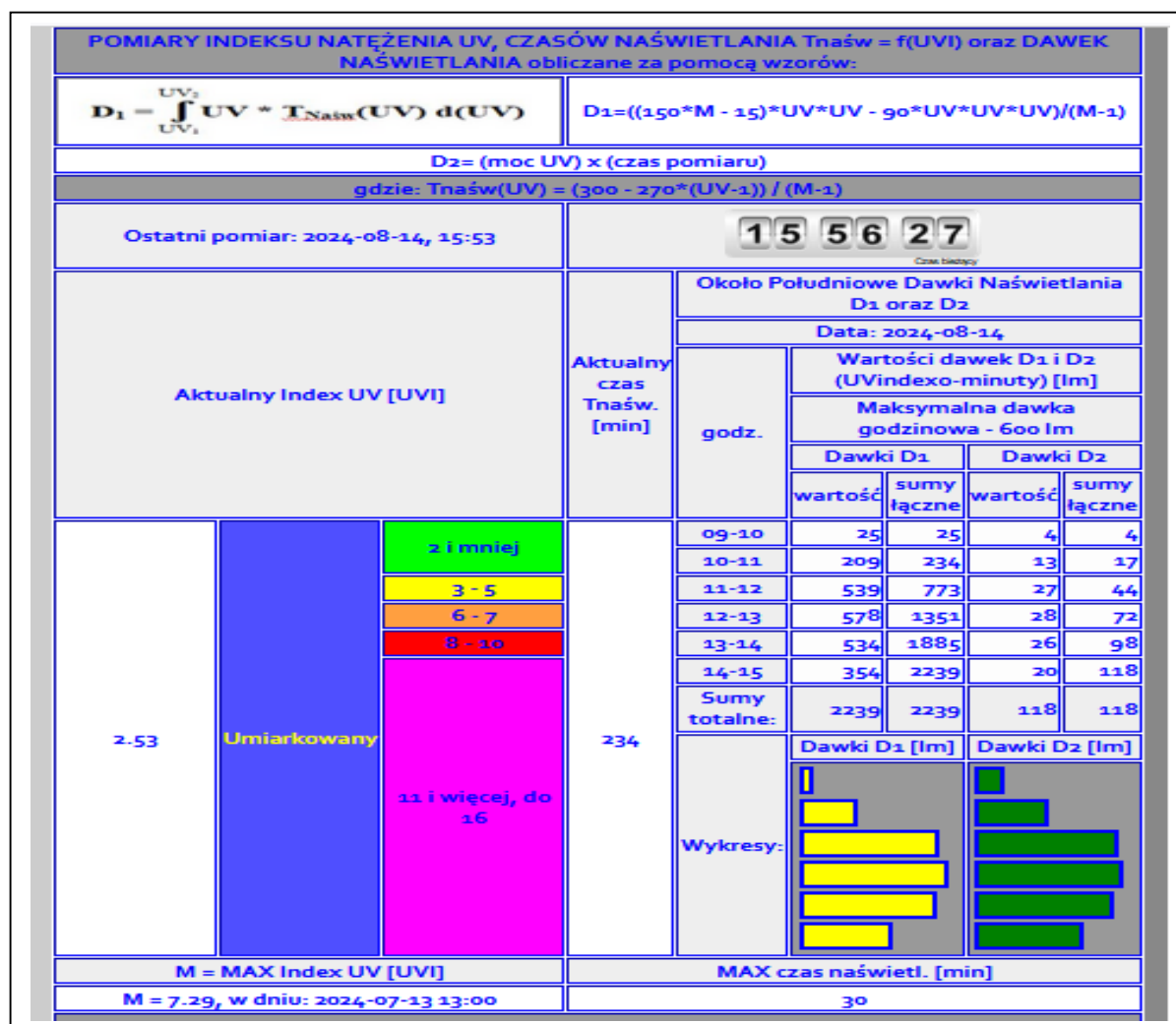


Rys. 24. Pomiary wartości indeksów UVI, czasów oraz dawek naświetlania

Fig. 24. Measurements of UVI index values, exposure times and doses

Na poniższym Rys. 25, przedstawiono skan strony internetowej z pomiarami wartości dawek naświetleń  $D_I$ , w godzinach południowych. Szczegóły zawarte są na podstronie internetowej:

[https://silesiaart.ovh/pomiary/uv\\_new2\\_dawki.php?Osie=1&Okres=1](https://silesiaart.ovh/pomiary/uv_new2_dawki.php?Osie=1&Okres=1)

Rys. 25. Pomiary dawki  $D_1$ , w godzinach około południowych, od godz. 09-15Fig. 25.  $D_1$  dose measurements, around noon, from 09-15

### 3. WNIOSKI

1. Teoretyczne wykresy dawek naświetlania są zależne od natężenia UV oraz  $M = Max(UV)$ .
2. Dla danego poziomu  $M = Max(UV)$ , 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.

#### 4. LITERATURA

- [1] "Witamina D a odporność. Naukowcy odkryli znaczące różnice między witaminą D3 a D2", Puls Medycyny, 03.03.2022, <https://pulsmedycyny.pl/witamina-d-a-odpornosc-naukowcy-odkryli-znaczace-roznice-miedzy-witamina-d3-a-d2-1143094>.
- [2] Colin P. Smith, Louise R. Durrant, Carla Möller-Levet, Kathryn H. Hart, Susan A. Lanham-New<sup>1</sup>, Giselda Buccal<sup>1</sup>, Laura Tripkovic, John C. Mathers, Andrew Hesketh, Huihai Wu, Ruan M. Elliott: "Vitamins D2 and D3 Have Overlapping But Different Effects on the Human Immune System Revealed Through Analysis of the Blood Transcriptome", *Front. Immunol.*, 24 February 2022, <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2022.790444/full>.
- [3] Matthews P.T.: Wstęp do mechaniki kwantowej. PWN, Warszawa 1977.
- [4] Khan Academy: "Wstęp do fali elektromagnetycznych", <https://pl.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>.
- [5] Pościk A., Wolska A., Owczarek G.: "Ocena narażenia na promieniowanie nadfioletowe z zastosowaniem indywidualnych fotochromowych dozymetrów", Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2009, [https://www.zus.pl/documents/10182/167730/Dozymetry\\_UV.pdf/a6bb5f56-d6ab-47d3-849c-23fa8703065e](https://www.zus.pl/documents/10182/167730/Dozymetry_UV.pdf/a6bb5f56-d6ab-47d3-849c-23fa8703065e).
- [6] "ICNIRP STATEMENT ON PROTECTION OF WORKERS AGAINST ULTRAVIOLET RADIATION", International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *HEALTH PHYSICS* 99(1):66-87, 2010, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPUVWorkersHP.pdf>.
- [7] Błaszczak A., Karolewska J., Jenerowicz D., Czarnecka M.: "Działanie promieniowania ultrafioletowego – aktualna wiedza w aspekcie dermatologicznym i alergologicznym.", *Alergologia Polska - Polish Journal of Allergology*, Volume 2, Issue 1, January–March 2015, Pages 21-27, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2353385415000034>.
- [8] Konspekt: "Promieniowanie słoneczne-całkowita składowa UV (global UVI)", Wydział Chemii Uniwersytet Jagielloński, [http://www2.chemia.uj.edu.pl/~czarniec/OchronaSrodowiska/UVI/UV\\_konspekt.doc](http://www2.chemia.uj.edu.pl/~czarniec/OchronaSrodowiska/UVI/UV_konspekt.doc).
- [9] Śpiewak R.: "Minimalna dawka rumieniowa (MED)", <http://www.dermatopedia.pl/art/2013pl005.html>.
- [10] "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>.
- [11] 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](https://journals.lww.com/health-physics/Fulltext/2018/01000/Review_of_the_Global_Solar_UV_Index_2015_Workshop.12.aspx).
- [12] 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>.
- [13] 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>.
- [14] "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>.
- [15] Biszczyk-Jakubowska J.: "UV – niebezpieczny dar od słońca", IMGWPIB/Zakład Monitorowania Jakości Powietrza, <https://obserwator.imgw.pl/2020/07/26/uv-niebezpieczny-dar-od-slonca/>.
- [16] Matuszko D.: "Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne", Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2009, <https://core.ac.uk/download/pdf/232008296.pdf>.
- [17] 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-slonecem/>.
- [18] Bock Z.: "Amatorski Przyrząd Pomiarowy", <https://silesiaart.ovh/pomiary/Amatorski%20przyrz%C4%85d%20pomiarowy%20UV.pdf>

Recenzent:

Wpłynęło do Redakcji 30 października 2024 r.

## Abstract

This article presents a method for calculating exposure times and doses of human skin based on measurements of the intensity of ultraviolet UV radiation. The basis of this method is the derivation, based on the adopted assumptions, of calculation formulas for time  $T_{Naśw} = f(UV)$  and exposure dose  $D = f(UV)$ , depending on the intensity of UV radiation, on the basis of which exposure times and doses are calculated, based on measurements of ultraviolet radiation indices, which are used to create charts on websites informing about permissible times and doses of exposure of human skin. Experts recommend exposing the body for an average of 5 to 30 minutes at least twice a week in summer, assuming that the darker the skin and the weaker the sunlight, the more minutes of exposure are needed to achieve the real goal, i.e. the production of vitamin D<sub>3</sub> by the human body.