

MOBILNY SYSTEM POMIAROWY DO OCENY ZAGROŻENIA PRACOWNIKÓW ZE WZGLĘDU NA PROMIENIOWANIE NADFIOLETOWE (UV)

Materiały informacyjne



Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej.

Zadanie nr 2.SP.07,

pt. *Opracowanie mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy*

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor – mgr. inż. Andrzej Pawlak

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Fot. na okładce: mkabakov/Bigstockphoto

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (48-22) 623 46 50, fax (48-22) 623 36 93, www.ciop.pl

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Potencjalne zagrożenia wynikające z ekspozycji na promieniowanie UV
3. Szkodliwe oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na oczy
4. Szkodliwe oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na skórę
5. Kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym
6. Charakterystyka źródeł promieniowania UV
7. Aparatura pomiarowa
8. Projekt mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy
9. Metoda pomiaru zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego
10. Podsumowanie
11. Bibliografia

Wprowadzenie

W wielu publikacjach można spotkać się z wnioskiem, że bez promieniowania UV nie byłoby w praktyce życia na Ziemi, ale jego nadmiar, i to nawet w niewielkim stopniu, jest szkodliwy dla ludzi. Niemniej, promieniowanie UV ma zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu i jest najbardziej szkodliwym rodzajem spośród nielaserowego promieniowania optycznego. Dlatego też bardzo ważnym zagadnieniem jest jego prawidłowa ocena na stanowiskach pracy.

Nadmierna ekspozycja na promieniowanie UV może być przyczyną zmian chorobowych oczu i skóry. Skutek biologiczny tego promieniowania zależy od jego poziomu, rozkładu widmowego, czasu i częstotliwości ekspozycji oraz rodzaju ekspozowanej tkanki.

Potencjalne zagrożenia wynikające z ekspozycji na promieniowanie UV

Promieniowanie nadfioletowe stanowi fragment promieniowania optycznego, którego długość fal zawarta jest w przedziale od 100 nm do 1 mm. Obszar promieniowania nadfioletowego dzieli się na pasma: A (bliskie), B (średnie) i C (dalekie). Zgodnie z normą [1] w przypadku nadfioletu pasma te obejmują następujące długości fal:

- UV-A: 315 ÷ 400 nm
- UV-B: 280 ÷ 315 nm
- UV-C: 100 ÷ 280 nm.

Działanie promieniowania UV ma charakter fotochemiczny, a jego skutek biologiczny zależy od ilości pochłoniętego promieniowania, długości fali i rodzaju ekspozowanej tkanki. Ilość pochłoniętego przez tkankę promieniowania jest zależna od jej napromienienia oraz współczynników odbicia i przepuszczania napromieniowywanej tkanki. Promieniowanie nadfioletowe może spowodować zarówno korzystne, jak i szkodliwe skutki dla organizmu człowieka.

Korzystny wpływ nadfioletu polega m.in. na działaniu przeciwkrzywiczym (powstawanie witaminy D₃ zwanej przeciwkrzywiczną, gdyż reguluje gospodarkę wapniowo-fosforową i proces odkładania się wapnia w kościach), przyczynia się do wzrostu odporności organizmu, obniżenia poziomu cholesterolu LDL, szybszego gojenia się ran, ustępowania infekcji i niektórych chorób skóry (np. łuszczycy), [2].

Nadmierna ekspozycja na promieniowanie nadfioletowe może prowadzić do wielu skutków niekorzystnych dla zdrowia człowieka. Rozróżniamy dwa podstawowe rodzaje szkodliwego oddziaływania nadfioletu na organizm człowieka: na oczy oraz na skórę.

Szkodliwe oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na oczy

Ekspozycja oka na promieniowanie nadfioletowe związana jest z uszkodzeniem powiek, rogówki, spojówki, soczewki, a także siatkówki. W odróżnieniu od skóry, powierzchnia oka jest w naturalny sposób chroniona przed ekspozycją na naturalne promieniowanie nadfioletowe, ponieważ jest głęboko osadzona w oczodole oraz jest w znacznej części zakryta powieką. W związku z tym oko ludzkie może być ekspozycjonowane w głównej mierze na promieniowanie padające na nie bezpośrednio z kierunku pokrywającego się z jego osią optyczną. Promieniowanie nadfioletowe może być przez gałkę oczną częściowo transmitowane, a także załamywane (refrakcja). Zjawisko refrakcji powoduje, że wchodzące do gałki ocznej promieniowanie skupiane jest w pewnym miejscu wewnątrz niej, co wiąże się ze wzrostem natężenia napromienienia w tym miejscu. Promieniowanie nadfioletowe, które wniknęło do gałki ocznej penetruje ją do głębokości ściśle uzależnionej od długości fali. Promieniowanie o fali mniejszej niż 280 nm jest prawie całkowicie absorbowane w rogówce oka, natomiast promieniowanie z zakresu 300 ÷ 370 nm jest pochłaniane dopiero w soczewce. Część promieniowania UV-A z zakresu 380 ÷ 400 nm, które pokrywa się z początkiem zakresu promieniowania widzialnego, dochodzi do siatkówki oka. W przypadku gdy soczewka naturalna została chirurgicznie zastąpiona implantem, który przepuszcza promieniowanie nadfioletowe o fali większej niż 290 nm, do siatkówki oka dociera znacząca ilość promieniowania z zakresu fal od 290 do 400 nm [3].

Najczęściej spotykanym, ostrym objawem narażenia oka na nadfiolet jest stan zapalny rogówki i spojówki wywołany przez pochłanianie przez nie promieniowania o długości fali mniejszej niż 290 nm. Skutki tej absorpcji to światłowstręt, wzmożone łzawienie, uczucie obcego ciała („piasku”) w oku, spazm powiek, niekiedy upośledzenie widzenia. Objawy zapalenia pojawiają się po okresie utajenia zależnego od widma promieniowania i wielkości pochłoniętej dawki nadfioletu. Działanie promieni należących do pasma UV-C charakteryzuje krótki okres utajenia – nawet poniżej 30 minut – w przypadku dużych dawek promieniowania, a objawy zapalenia ustępują po około 14 godzinach od ekspozycji. W przypadku pasma UV-B okres utajenia jest dłuższy i wynosi od 6 do 24 godzin, a objawy zapalenia ustępują po około 24 ÷ 48 godzinach od ekspozycji. Z badań wpływu UV na rogówkę oka ludzkiego wynika, że maksymalną skuteczność wywoływania zapalenia rogówki mają fale o długości 270 nm, a wartość progowa napromienienia powstania tego objawu wynosi 40 J/m² [4].

Zapalenie spojówek wywołane nadfioletem powstaje po okresie utajenia około 5 ÷ 10 godzin i objawia się ich zaczerwienieniem, swędzeniem, pieczeniem, łzawieniem, czasami występuje

światłowstręt, a w przypadku większej dawki dochodzi do bólu i zakłócenia prawidłowego widzenia. Objawy ustępują od 10 godzin do kilku dni, zależnie od wielkości ekspozycji i intensywności powstałych zmian. Maksymalną skutecznością wywoływania zapalenia spojówek charakteryzują się fale o długości 260 nm, a wartość progowa napromienienia tego objawu wynosi 50 J/m^2 [4].

Promieniowanie nadfioletowe większe niż 290 nm jest przepuszczane przez rogówkę i ciecz wodnistą i dociera do soczewki oka. W soczewce jest silnie pochłaniane, co może doprowadzić do powstawania zjawiska fluorescencji przeszkadzającego w procesie widzenia. Natomiast długotrwała ekspozycja soczewki na intensywne promieniowanie UV prowadzi do powstania zaćmy (fotochemicznej) czyli trwałego zmętnienia soczewki. Rozwój zaćmy jest powolny i trwa wiele lat. Najprawdopodobniej największą skuteczność wywoływania zaćmy posiadają fale o długości $300 \div 320 \text{ nm}$. Promieniowanie UV powyżej 300 nm docierające do siatkówki oka może być przyczyną powstawania schorzeń lub uszkodzeń siatkówki o charakterze fotochemicznym. Oprócz wymienionych schorzeń, promieniowanie nadfioletowe jest przyczyną powstawania również takich chorób oczu, jak łączne zapalenie spojówki i rogówki, skrzydlik, a także rak oka. Efekty szkodliwe ze względu na czas ich wystąpienia po ekspozycji oczu dzieli się na ostre i przewlekłe. Ostre występują maksymalnie do 24 godzin po ekspozycji, natomiast przewlekłe występują znacznie później, a często na skutek wieloletniej ekspozycji na naturalne promieniowanie nadfioletowe [5].

Szkodliwe oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na skórę

Skóra jest największym narządem ludzkiego organizmu. Ma około $1,5 \div 2 \text{ m}^2$ powierzchni, a jej grubość waha się w zależności od lokalizacji od 0,1 mm na powiekach do $6 \div 7 \text{ mm}$ na podeszwach stóp [6]. Skóra pełni głównie funkcję ochronną oraz wydzielniczą. Jednym z zagrożeń wpływających na strukturę skóry jest promieniowanie nadfioletowe przenikające przez poszczególne jej warstwy i powodujące nieodwracalne uszkodzenia [7, 8].

Skutki biologiczne działania promieniowania nadfioletowego na skórę mogą być obserwowane bezpośrednio, w krótkim czasie po ekspozycji, ale mogą również ujawnić się po wielu latach [9]. W dużej mierze efekt biologiczny zależy od sumarycznej, kumulującej się dawki promieniowania oraz od jego widma.

Odpowiedzią skóry na nadmierną ekspozycję na promieniowanie nadfioletowe są: rumień, opalenizna oraz pogrubienie naskórka [10]. Odległe, niekorzystne zjawiska skumulowanego działania promieniowania nadfioletowego to przede wszystkim przyspieszenie procesu starzenia się skóry (tzw.

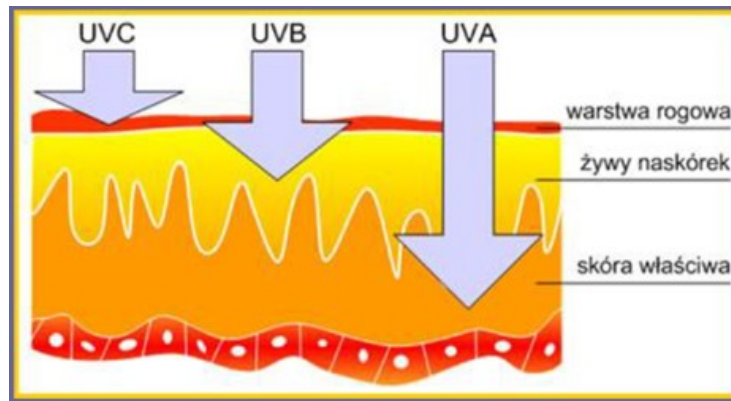
fotostarzenie, ang. *photoaging*) oraz stymulacja rozwoju nowotworów [11]. Odrębną grupę następstw stanowią fotodermatozy i fotoalergie [12, 13].

Najbardziej widocznym, najczęściej spotykanym i badanym objawem ekspozycji skóry na promieniowanie UV jest jej rumień czyli erytema. Rumień wywołany promieniowaniem UV-C, które ma najmniejszą długość fali (do 280 nm) oznacza, że cechuje je najwyższa energia kwantu; ustępuje po ok. 2-3 dniach [10].

Promieniowanie UV-B ma bardzo silne właściwości rumieniotwórcze, może wywołać oparzenia, bolesne obrzęki i pęcherze, stymuluje syntezę barwnika skóry i jej zbrązowienie [10]. W skrajnym przypadku mogą powstać różnego rodzaju nowotwory skóry, w tym czerniak. Promieniowanie UV-B przez wiele lat uważane było za główną przyczynę uszkodzeń skóry po nadmiernej ekspozycji [14]. Wyłącznie temu zakresowi widma przypisywano działanie rumieniotwórcze, a także obarczano je odpowiedzialnością za przyspieszone starzenie skóry i stymulację rozwoju jej nowotworów złośliwych [15]. Wiele obserwacji z ostatnich kilkunastu lat wykazało jednak, że także promieniowanie UV-A powoduje niekorzystne zjawiska na skórze człowieka [16].

Promieniowanie UV-A jest mniej rumieniogenne od promieniowania UV-B [17]. Wysokie dawki promieniowania UV-A mogą jednak wywoływać zmiany rumieniowe i zwiększać niekorzystne efekty biologiczne promieniowania UV-B (10). Są one odpowiedzialne za większość odczynów fotoalergicznym i fototoksycznym obserwowanych na skórze [11]. Ostatnio podkreśla się jednak, że promieniowanie UV-A ma znaczne działanie kancerogenne. Proces kancerogenezy jest wieloetapowy i dopiero przejście wszystkich jego etapów prowadzi do rozwoju nowotworu złośliwego [18].

Na rys. 1. pokazano głębokość wnikania w poszczególne warstwy skóry poszczególnych zakresów promieniowania UV.



Rys. 1. Głębokość wnikania w poszczególne warstwy skóry poszczególnych zakresów promieniowania UV¹

Kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym

Jako kryterium oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym przyjęto [19-23] niedopuszczenie do powstania rumienia skóry, zapalenia rogówki i spojówki oka, rozwoju zmian nowotworowych skóry i zaćmy soczewki.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 9 stycznia 2020 r., w odniesieniu do promieniowania nadfioletowego obowiązują następujące wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE), [24]:

- najwyższe dopuszczalne napromienienie skuteczne N_s promieniowaniem nadfioletowym oka i skóry w ciągu zmiany roboczej wynosi 30 J/m^2 , wyznaczone według krzywej skuteczności $S(\lambda)$ w zakresie $180 \div 400 \text{ nm}$

$$E_s = \sum_{180}^{400} E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$N_s = E_s \cdot t$$

gdzie:

E_λ – natężenia napromienienia dla długości fali λ

E_s – skuteczne natężenie napromienienia

t – czas całkowitej ekspozycji na promieniowanie w ciągu zmiany roboczej

N_s – skuteczne napromienienie.

- w celu niedopuszczenia do powstania zaćmy ze względu na ekspozycję rogówki oka na promieniowanie UV, dodatkowo ograniczono całkowite nieselektywne (niezależne od długości

¹ <https://centrum-kore.pl>

fali) napromienienie N_{UV-A} oczu promieniowaniem pasma 315 ÷ 400 nm do wartości 10 000 J/m² w ciągu zmiany roboczej:

$$E_{UV-A} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
$$N_{UV-A} = E_{UV-A} \cdot t$$

gdzie:

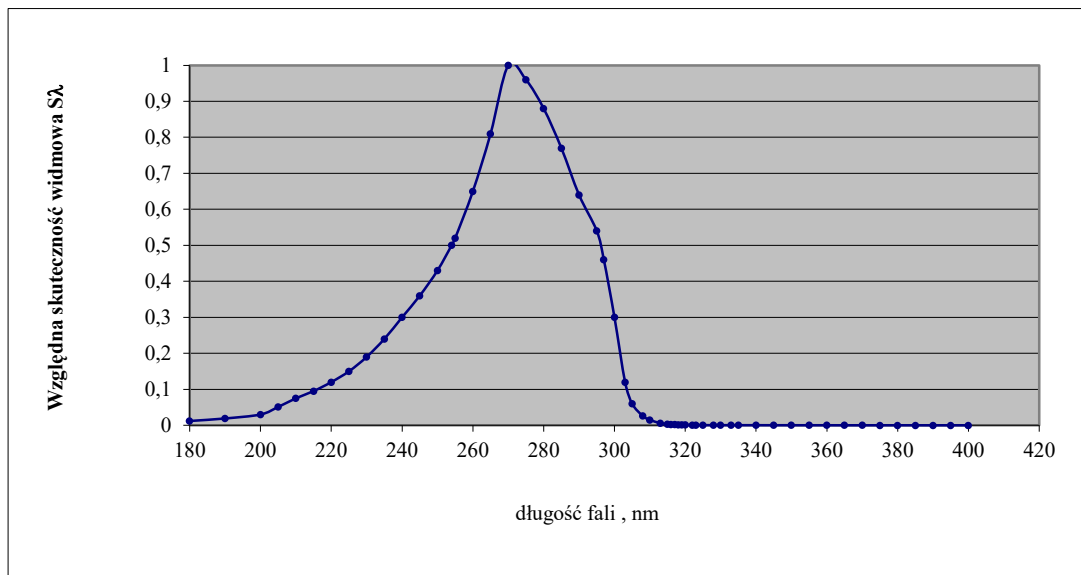
E_{λ} – natężenie napromienienia dla długości fali λ ,

E_{UV-A} – całkowite natężenie napromienienia nieselektywnego pasmem 315 ÷ 400 nm,

t – czas całkowitej ekspozycji na promieniowanie w ciągu zmiany roboczej,

N_{UV-A} – całkowite napromienienie pasmem 315 ÷ 400 nm.

W obwieszczeniu MPiPS z dnia 26 lipca 2013 r. (Dz.U. z 2013 poz. 1619), [25] oraz w PN-T-06589:2002 [26] określono rozkład widmowy względnej skuteczności biologicznej promieniowania nadfioletowego $S(\lambda)$, (rys. 2.), powodującego powstanie rumienia skóry oraz stanów zapalnych rogówki i spojówki oka.



Rys. 2. Względna skuteczność widmowa $S(\lambda)$ zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem UV [25, 26]

Charakterystyka źródeł promieniowania UV

Źródła promieniowania nadfioletowego dzieli się na naturalne (np. Słońce czy gwiazdy) i sztuczne:

- elektryczne (promienniki UV, świetlówki, lampy rtęciowe, żarówki halogenowe, lampy wodorowe, ksenonowe, lampy Wooda),
- procesy (źródła) technologiczne (spawanie łukowe i gazowe, cięcie łukiem plazmowym, cięcie tlenowe).

Natężenie promieniowania UV emitowanego przez Słońce zależy w dużym stopniu od szerokości geograficznej, pory roku, pory dnia, stanu pogody. Najczęściej spotykanymi sztucznymi źródłami nielaserowego promieniowania nadfioletowego są natomiast promienniki elektryczne oraz procesy technologiczne.

Elektryczne promienniki UV

Powszechnie stosowane elektryczne promienniki UV, oprócz znikomego promieniowania widzialnego emitują w różnym stopniu promieniowanie nadfioletowe. Większość elektrycznych źródeł światła, stosowanych do ogólnych celów oświetleniowych, nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka. Jedynie w przypadku takich specjalistycznych źródeł światła, jak:

- świetlówki aktywnicze i superaktywnicze,
- świetlówki bakteriobójcze,
- lampy Wooda (promienniki z bańką pokrytą czarnym luminoforem),
- lampy rtęciowe UV średnioprężne i wysokoprężne,
- metalohalogenkowe promienniki UV,
- lampy deuterowe,
- lampy ksenonowe,

przeznaczonych do stosowania w różnych procesach technologicznych lub urządzeniach, emitowane przez nie promieniowanie nadfioletowe może stanowić zagrożenie dla zdrowia.

Elektryczne źródła promieniowania nadfioletowego znalazły zastosowanie w wielu procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych. Przykładowe zastosowania elektrycznych źródeł promieniowania UV to:

- poligrafia – polimeryzacja tuszu, drukowanie, grawerunek,
- powielanie dokumentów – naświetlanie,
- malarnie – polimeryzacja farb,

- przemysł półprzewodnikowy, obwody drukowane – naświetlanie,
- medycyna - fototerapia - choroby skóry, łuszczyca, bielactwo,
- defektoskopy – kontrola elementów,
- dezynfekcja – wody (np. baseny, oczyszczalnie ścieków), powierzchni (np. narzędzia medyczne), powietrza (np. szpitale),
- pułapki na owady – higiena żywności,
- kosmetyka (solaria) – opalanie.

Technologiczne źródła promieniowania UV

Źródłami technologicznymi promieniowania UV są: spawanie łukowe (np. łukiem elektrycznym lub plazmowym), spawanie gazowe, cięcie łukiem plazmowym, natryskiwanie cieplne, cięcie tlenowe, elektrodrażenie i inne. W trakcie tych procesów emitowane jest promieniowanie, które jest sumą promieniowania termicznego rozżarzonych elektrod i roztopionego metalu oraz luminescencji materiału elektrod, gazu spawalniczego, topnika i łączonych elementów. W efekcie emitowane jest przede wszystkim bardzo intensywne promieniowanie widzialne i nadfioletowe oraz w mniejszym stopniu promieniowanie podczerwone. Jest to głównie spowodowane wysoką temperaturą łuków spawalniczych elektrycznych oraz plazmy w palnikach plazmowych. Najczęściej stosowane metody spawania to: MMA, MIG, MAG, TIG².

Aparatura pomiarowa

Do pomiaru natężenia napromienienia promieniowania UV można używać niezbyt precyzyjnych mierników osobistych w postaci kart lub np. nadruków fotowrażliwych na koszulkach, co wystarcza w celu oszacowania indywidualnego zagrożenia, albo precyzyjnych mierników spektrofotometrycznych. Te pierwsze zwykle pozwalają jedynie na oszacowanie indeksu UV, natomiast w przypadku mierników technicznych podawana jest konkretna wartość natężenia, dzięki czemu mogą być one używane do precyzyjnej oceny bezpieczeństwa pracowników podczas obsługi określonych procesów technologicznych.

Typowych mierników technicznych przeznaczonych do pomiaru natężenia napromienienia w zakresie UV jest na rynku dosyć duży wybór. Mogą to być radiometry dobrej klasy, jak np. seria

² MMA (Manual Metal Arc Welding) – spawanie elektrodami topliwymi otulonymi.

MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas) – spawanie elektrodami topliwymi w osłonie gazów obojętnych / spawanie w osłonie gazów aktywnych.

TIG (Tungsten Inert Gas) – spawanie elektrodą nietopliwą w osłonie gazowej.

mierników z dwoma wymiennymi detektorami (rys. 3a), czy miernik Foto-radiometr z trzema detektorami w zakresie całego pasma UV (rys. 3b).



a)

b)

c)

Rys. 3. Radiometry różnego rodzaju (fot. <https://www.test-therm.pl>)

Na rynku są również dostępne tego typu mierniki o zakresie pomiarowym UV-A + UV-B, lub tylko UV-A, czy tylko UV-C (rys. 4). Jest również dostępna cała gama dozymetrów czy wskaźników występowania promieniowania UV.



Rys. 4. Przykładowe mierniki promieniowania UV-A + UV-B, UV-A, UV-C (fot. <https://diolut.pl>)

W związku z faktem, że promieniowanie optyczne, w tym również nadfioletowe, jest czynnikiem szkodliwym, pomiary te mogą wykonywać laboratoria akredytowane, a aparatura pomiarowa powinna być okresowo wzorcowana.

Projekt mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy

Na podstawie analizy stanu wiedzy w aspekcie zapotrzebowania rynkowego na wykonywanie tych pomiarów, dostępnej w tym zakresie aparatury pomiarowej, sposobu ich wykonywania oraz najnowszych trendów w rozwoju detektorów do pomiaru promieniowania UV stwierdzono, że nie znaleziono żadnych doniesień literaturowych odnośnie wykorzystania smartfona z odpowiednią aplikacją do celów oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy. Jedynie spotkano informacje o aplikacjach na smartfony, które służyły tylko informowaniu opinii publicznej o aktualnych poziomach promieniowania UV w określonym rejonie poprzez przesłanie odpowiedniego komunikatu.

Natomiast w kilku publikacjach opisano badania porównawcze wykonane aparaturą konsumencką oraz techniczną, z których wynikały znaczne rozbieżności w wynikach pomiarów, co ma znaczący wpływ na zapewnianie dokładności pomiarów, a tym samym oceny zagrożenia zdrowia pracowników.

Opracowany i wykonany model detektora i mobilnej aplikacji umożliwia ocenę zagrożenia promieniowaniem z całego zakresu UV skorygowanego do krzywej $S(\lambda)$ oraz z zakresu UV-A – zgodnie z wymaganiami aktualnego Rozporządzenia MPiPS. Elementami detekcyjnymi w zaprojektowanym układzie pomiarowym są dwie fotodiody - w torze pomiarowym UV - wykonana z GaAsP, typ G1116 firmy HAMAMATSU, a w torze pomiarowym UV-A - z węgliku krzemu (SiC), typ SG01L-18 firmy SGLUX The UV Experts. Model detektora zasilany jest z modułu zasilającego (akumulatorki AA enelop PRO firmy Panasonic) o napięciu 6 V i pojemności 2 500 mAh, co zapewnia bardzo długi czas pracy urządzenia oraz minimalne rozładowywanie się akumulatorów podczas stanu spoczynku. Za pomocą modułu komunikacji bezprzewodowej Bluetooth Low Energy detektor pomiarowy komunikuje się z urządzeniem mobilnym (smartfonem). Sterowanie detektorami pomiarowymi odbywa się z poziomu smartfona z wykorzystaniem specjalnie w tym celu opracowanej aplikacji do oceny zagrożenia promieniowaniem UV. Umożliwia ona zapis wyników pomiarów w pamięci smartfona w dedykowanym do konkretnych pomiarów folderze, ustalenie czasu odświeżania (wartość minimalna 1 s), a także korzystanie z archiwalnych zapisów wyników pomiarów.

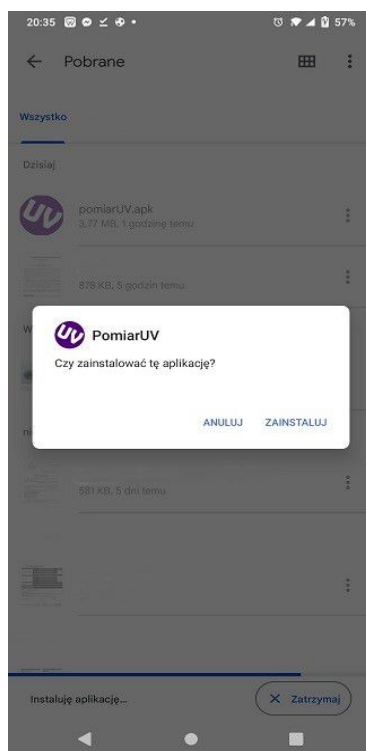
W celu zapewnienia poprawności wskazań modelu detektora pomiarowego opracowano system i stanowisko do ich kalibracji. W opracowanym systemie kalibracji zastosowano metodę porównania wskazań modelu detektora ze wskazaniem miernika odniesieniowego, oświetlanych tą samą wiązką promieniowania o znanym rozkładzie widmowym. Na podstawie wyników uzyskanych

z kalibracji dokonano oszacowania błędów pomiarowych poprzez dokonanie oceny niepewności pomiaru promieniowania UV oraz promieniowania UV-A. W przypadku zakresu pomiarowego UV błąd pomiaru wynosi $\pm 6,5\%$, a w odniesieniu do zakresu UV-A $\pm 7,29\%$. Są to bardzo zadawalające wyniki, gdyż PN-EN 14255-1: 2010 dopuszcza 30% dla pomiarów, których wyniki są porównywane z wartościami MDE, a 50% dla pomiarów bezpośrednich.

Metoda pomiaru zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego

Instalacja aplikacji

Plik **pomiarUV.apk** należy przesłać na telefon z systemem operacyjnym Android 9.0 lub nowszym np. z komputera. W telefonie wybrać plik i potwierdzić instalację (rys. 1). Następnie należy włączyć moduł Bluetooth w smartfonie.



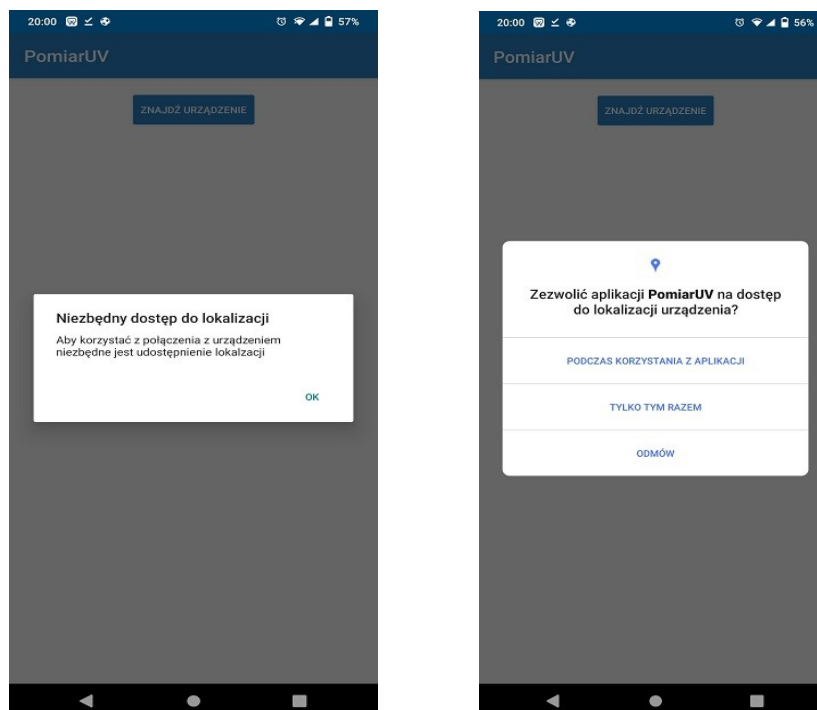
Rys. 1. Widok ekranu smartfona z wyświetlonym pytaniem o zainstalowanie aplikacji pomiarUV.apk

Pierwsze uruchomienie aplikacji

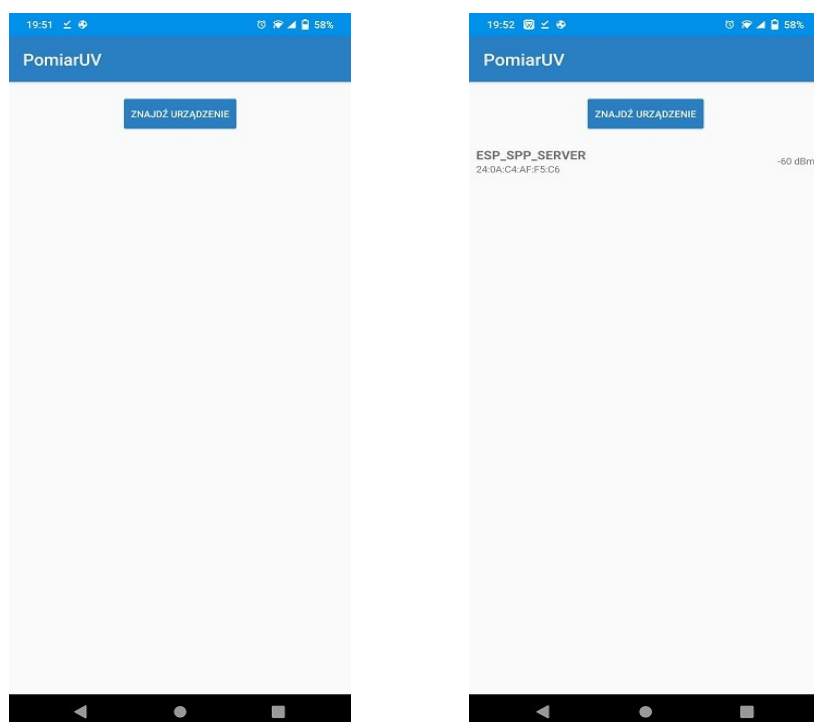
Przy pierwszym uruchomieniu aplikacji **pomiarUV.apk**, należy nadać jej odpowiednie uprawnienia. W tym przypadku są to uprawnienia do lokalizacji urządzenia w celu dokończenia instalacji. Żądanie to wynika z zastosowania modułu Bluetooth Low Energy w urządzeniu pomiarowym, które łączy się ze smartfonem (rys. 2).

Parowanie urządzeń

W celu odczytu wyników pomiarów z urządzenia pomiarowego na smartfonie przy pomocy aplikacji należy sparować je ze sobą. Po włączeniu aplikacji na głównym ekranie pojawi się przycisk „**ZNAJDŹ URZĄDZENIE**”. Po jego wciśnięciu nastąpi proces wyszukiwania wszystkich dostępnych urządzeń. Gdy urządzenie, z którym ma nastąpić proces sparowania pojawi się na liście należy je wybrać (musi mieć ono włączone zasilanie) (rys. 3).



Rys. 2. Widok ekranu smartfona z wyświetlonym pytaniem o zezwolenie aplikacji PomiarUV na dostęp do lokalizacji (smartfona)



Rys. 3. Widok ekranu smartfona z wyświetlonym pytaniem szukania urządzenia pomiarowego

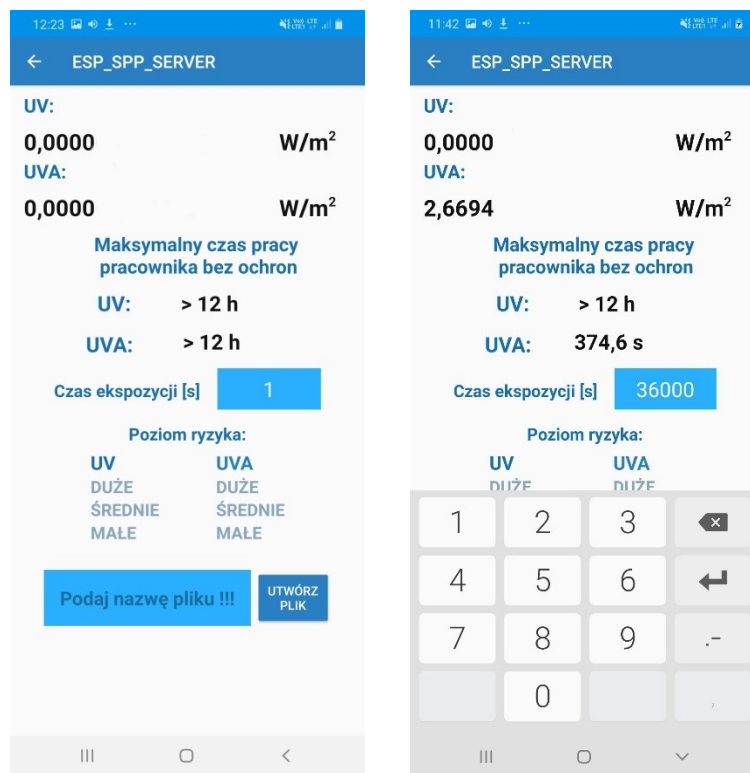
Uruchomienie pomiarów

Po połączeniu się z urządzeniem pomiarowym ekran smartfona będzie miał wygląd jak na rys. 4a. Od tego momentu urządzenie jest gotowe do wykonywania pomiarów. Na ekranie smartfona będą prezentowane następujące dane:

- wynik pomiarów z dwóch czujników (UV i UV-A) w W/m^2 ,
- minimalny czas pracy pracownika bez ochron (dla obu narażeń UV i UV-A),
- poziom ryzyka dla wyników z obu czujników (odpowiednia informacja będzie wyświetlana w kolorze czerwonym – ryzyko duże, pomarańczowym – ryzyko średnie i zielonym – ryzyko małe).

Warunkiem wyświetlenia właściwego wyniku oceny ryzyka zawodowego jest wpisanie w niebieskie okienko, znajdujące się po środku ekranu, czasu ekspozycji w sekundach (rys. 4b). W przeciwnym przypadku czas ten będzie przyjęty domyślnie jako 1 s.

Pomiary są odświeżane z ustalonym, stałym czasem, wynoszącym około jednej sekundy.



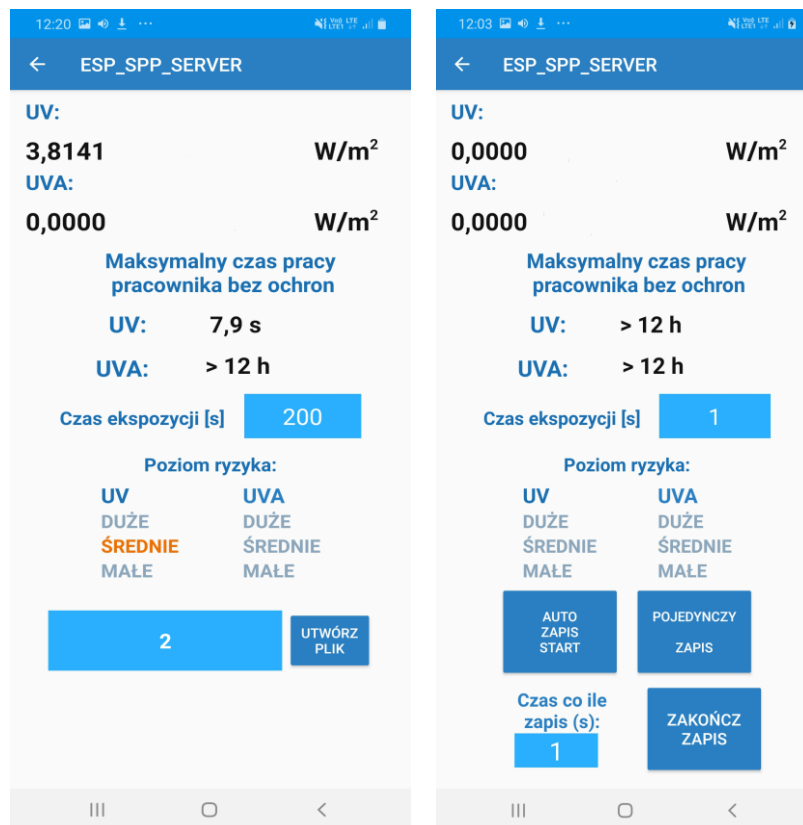
a)

b)

Rys. 4. Widok ekranu smartfona: a) gotowego do pomiarów, b) podczas wpisywania czasu ekspozycji

Wykonywanie pomiarów jest możliwe w dwóch wariantach – poprzez obserwację wyniku na ekranie smartfona lub zapis serii pomiarów w pamięci smartfona przy jednoczesnej obserwacji wyników na ekranie. W pierwszej opcji można nie tworzyć pliku wynikowego w pamięci smartfona – ekran smartfona będzie skonfigurowany jak na rys. 4a.

Jeżeli będzie wykonywana seria pomiarów złożona z kilku/kilkunastu pomiarów wówczas można wykorzystać pamięć smartfona do zapisywania wyników poprzez nadanie nazwy pliku, np. „2” (rys. 5a). Po naciśnięciu przycisku „UTWÓRZ PLIK” uzyskujemy możliwość wyboru zapisu pojedynczego wyniku lub serii wyników. W przypadku opcji zapisu serii wyników możemy ustalić czasookres zapisu (w sekundach) – domyślnie ustawiona jest jedna sekunda. Zapis serii pomiarów należy uruchomić naciskając przycisk „AUTO ZAPIS START”, a zakończyć – naciskając „ZAKOŃCZ ZAPIS” (rys. 5b). Można też dopisywać wyniki pomiarów do istniejącego pliku poprzez wpisanie ponowne jego nazwy.



a)

b)

Rys. 5. Widok ekranu smartfona: a) podczas nadania nazwy dla pliku „2”, b) opcje zapisu wyników pomiarów

Wyniki pomiarów zapisywane są w pamięci smartfona w utworzonym katalogu ESP_SPP_SERVER, a nazwy poszczególnych plików mają postać ESP_SPP_SERVER/nazwa_pliku.csv. Wyniku z tego pliku można bezpośrednio eksportować do programu EXCEL. Wyniki pomiarów są przechowywane we wskazanym pliku w formie takiej samej jak są przedstawione na ekranach aplikacji w telefonie. W tabeli 1. podano przykład kilku odczytów pomiarów.

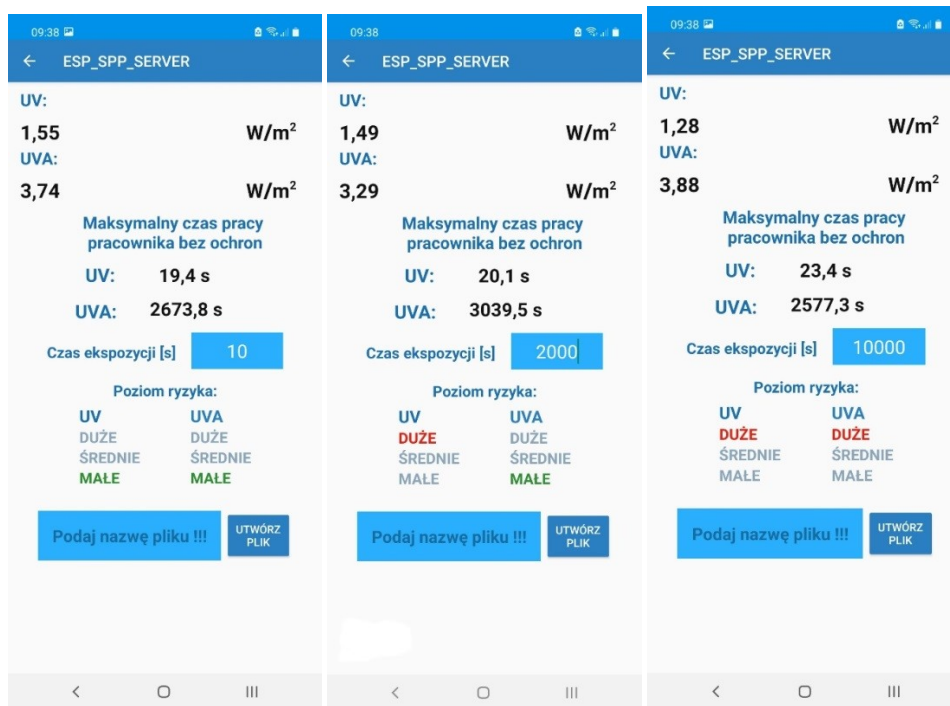
Tabela 1. Przykład zapisanych w pamięci smartfona kilku odczytów pomiarów

	A	B	C	D	E	F	G
1	Czas	Pomiar 1	Pomiar 2	Maks. czas narażenia oczu 1	Maks. czas narażenia oczu 2	Maks. czas narażenia skóry 1	Maks. czas narażenia skóry 2
2	22:30:29	1457.0	1457.0	10 s	10 s	10 s	10 s
3	22:30:38	1748.0	1747.0	10 s	10 s	10 s	10 s
4	22:30:40	1702.0	1700.0	10 s	10 s	10 s	10 s
5	22:30:43	942.0	946.0	10 s	10 s	10 s	10 s
6	22:30:45	373.0	373.0	24 h	24 h	24 h	24 h
7	22:30:47	0.0	0.0	24 h	24 h	24 h	24 h
8	22:30:54	227.0	230.0	24 h	24 h	24 h	24 h
9							
10							

Pomiar 1 - wyniki pomiarów związane z promieniowaniem UV

Pomiar 2 - wyniki pomiarów związane z promieniowaniem UV-A

Na rysunku 6 pokazano ekrany smartfona z wyświetlonymi przykładowymi wynikami pomiarów. Widoczne są różne wyniki pomiaru natężenia napromienienia promieniowaniem z zakresu UV oraz UV-A, wyznaczone dla tych przypadków maksymalne czasy pracy pracownika bez ochron, wprowadzone różne czasy ekspozycji oraz uzyskane odpowiednie wyniki ryzyka zawodowego.



Rys. 6. Widok ekranu smartfona z wyświetlonymi wynikami pomiarów i oceną ryzyka

Pomiary zagrożenia promieniowaniem UV na stanowiskach pracy

Pomiary parametrów promieniowania nadfioletowego należy wykonywać w rzeczywistych warunkach pracy, w czasie cyklu pracy, podczas którego występuje emisja tego promieniowania, w miejscu przebywania pracownika. Detektor pomiarowy mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy należy umieszczać na wysokości wszystkich eksponowanych na to promieniowanie części ciała pracownika, szczególnie: dłoni, twarzy, oczu (rys. 7). We wszystkich przypadkach pomiar należy wykonywać kierując sondę pomiarową w stronę maksymalnej intensywności emitowanego promieniowania, dokonując co najmniej dziesięciu odczytów ze wskazań miernika dla każdej narażonej części ciała pracownika. Podczas występującego narażenia na zmieniające się w czasie promieniowanie należy wyznaczać jego wartości maksymalne w danym cyklu.



Rys. 7. Przykładowy pomiar zagrożenia promieniowaniem UV na stanowisku spawacza (fot. Autor)

Metoda oceny ryzyka zawodowego

Ocena ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją pracowników na promieniowanie UV musi zawsze opierać się na wynikach pomiarów tego promieniowania, wykonanych na rzeczywistych stanowiskach pracy. Najczęściej do takich pomiarów wykorzystywany jest miernik natężenia napromienienia promieniowaniem UV / radiometr z odpowiednimi detektorami pomiarowymi. W przypadku radiometru, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 9 stycznia 2020 r. (Dz.U. z 2018 poz. 1286) [24] muszą być zastosowane dwie sondy pomiarowe do oceny:

- skutecznego $S(\lambda)$ natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym w zakresie 180 ÷ 400 nm (ocena zagrożenia fotochemicznego rogówki i spojówki oka oraz skóry twarzy i rąk) – E_s ,
- całkowitego natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym w zakresie 315 ÷ 400 nm (UV-A - ocena zagrożenia fotochemicznego soczewki oka) – E_{UVA} ,

co jest spełnione przy wykorzystaniu do oceny zagrożenia promieniowaniem UV mobilnego systemu pomiarowego.

Do oceny ryzyka zawodowego przyjęto kryterium polegające na porównaniu wyznaczonego pomiaru poziomu ekspozycji (PE) z odpowiednią dla danego rodzaju zagrożenia zdrowia wartością MDE, zgodnie z zależnościami [27]:

- **duże**, jeśli: **PE > MDE**
- **średnie**, jeśli : **0,7 MDE < PE ≤ MDE**
- **małe**, jeśli: **PE ≤ 0,7 MDE**.

Podsumowanie

Mobilny system pomiarowy do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy był kalibrowany z wykorzystaniem wzorcowanego miernika matrycowego. Następnie wskazania tego systemu były sprawdzane pod względem poprawności podczas organizowanych w CIOP-PIB badań porównawczych z wynikami 14 laboratoriów. Również dokonano weryfikacji funkcjonalności aplikacji sterującej pomiarami oraz prawidłowości wskazań podczas badań użytkowych z udziałem użytkowników końcowych – pracowników działów BHP w dziewięciu zakładach pracy. W ostatnim przypadku odnoszono wyniki pomiarów uzyskane z mobilnego systemu pomiarowego do wskazań wzorcowanego radiometru ILT 1400 z zestawem odpowiednich sond, który jest na wyposażeniu Pracowni Promieniowania Optycznego.

Na podstawie wniosków z badań użytkowych z udziałem użytkowników końcowych wprowadzono modyfikacje w aplikacji oraz w niniejszym materiale informacyjnym.

Zarówno wyniki badań porównawczych jak i porównań z wynikami pomiarów uzyskanymi z radiometru ILT 1400 wskazują na poprawność wskazań mobilnego systemu pomiarowy jak i jego dobrą dokładność pomiarową.

Bibliografia

- [1] PN-90/E-01005 Technika świetlna. Terminologia
- [2] POŚCIK A.: Ocena narażenia na promieniowanie nadfioletowe z zastosowaniem indywidualnych fotochromowych dozymetrów. Praca naukowo badawcza z zakresu prewencji wypadkowej. CIOP-PIB, Warszawa, grudzień 2009.
- [3] ŁASTOWIECKA-MORAS E., BUGAJSKA J.: Promieniowanie nadfioletowe – zasady zapobiegania negatywnym skutkom zdrowotnym. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 2008,446,11: 21-23.
- [4] LUŻYŃSKA M.: Ochrona narządu wzroku przed szkodliwym działaniem promieniowania UV. *Optyka*. 2017,4: 58-62.
- [5] SŁOMA-KUCZYŃSKA J., BILSKI B.: Profilaktyka pierwszorzędowa u pracowników narażonych na promieniowanie nadfioletowe pochodzenia słonecznego oraz ryzyko związane z tym czynnikiem. *Medycyna Pracy* 2004,55,3: 283-287.
- [6] GRONO M., MROZOWSKA M., SALCZYŃSKA A.: Wstęp do kosmetyki. Nowa Era, Warszawa 2013.
- [7] ATA, P., MAJEWSKI, S. Fotostarzenie skóry – Photoaging of human skin. *Przegląd Dermatologiczny* 2013,3: 178-183.
- [8] GLIWA E., GOŹDZIAŁSKA A., JAŚKIEWICZ J.: Wpływ promieniowania UV na skórę. [w:] Goździalska A, Jaśkiewicz J (red.). *Współczesne kierunki w medycynie prewencyjnej*. Oficyna Wydawnicza AFM, Kraków 2013.
- [9] GIES HP., ROY CR., TOOMEY S., MCLENNAN A.: Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutat. Res.* 1998, 422: 15-22.
- [10] JASIEL-WALIKOWSKA E., PLACEK W.: Bezpośrednie i odległe skutki biologiczne działania promieniowania słonecznego na zdrową skórę. *Dermatol. Estet.* 1999,3: 120-128.
- [11] BROWDER JF., BEERS B.: Photoaging. *Postgrad. Med.* 1993,8: 74-79.
- [12] KIEĆ-ŚWIERCZYŃSKA M., KRĘCISZ B.: Choroby skóry wywołane nadwrażliwością na światło. *Medycyna Pracy* 2001,62: 383-387.
- [13] LEHMAN P. Fotodermatozy [w:] Burgdorf HW., Plewig G., Wolff H., Landthaler M., Braun-Falco O.: *Dermatologia*. Wydawnictwo Czelej, Lublin 2010.
- [14] DEBUYS HV., LEVY SB., MURRAY JC., MADEY DL., PINNEL SR.: Modern approaches to photoprotection. *Dermatol. Clin.* 2000,18: 577-590.
- [15] SARNOFF DS.: Goodbye, managed care, hello, skin care. *Arch. Dermatol.* 1999,135: 1308-1310.
- [16] EBISZ M., BROKOWSKA M.: Szkodliwe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na skórę człowieka. *Hygeia Public Health* 2015,50,3: 467-473.

- [17] DIFFEY BL.: What is light? *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* 2002, 18: 68-74.
- [18] ANANTHASWAMY HN., ULLRICH SE., KRIPKE MK.: Inhibition of UV-induced p53 mutations and skin cancers by sunscreen: implication for skin cancer prevention. *Exper. Dermatol.* 2002,11: 40-43.
- [19] Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16.1 dyrektywy 89/391/EWG).
- [20] International Commission on Illumination (CIE) Standard Erythema Dose, a Review, Technical Report, 125-1997.
- [21] International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association, Proposed change to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation. *Health Physics* 1989, 56: 971-972.
- [22] VECCHIA P., HIETANEN M., STUCK BE., van DEVENTER E., NIU S.: Protecting workers from ultraviolet radiation, ICNIRP in collaboration with ILO, WHO, 14/2007.
- [23] Working group report: Ultraviolet radiation & Health. Current knowledge of exposure and health risks. *Afssse, InVS, Afssaps*, May 2005.
- [24] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 9 stycznia 2020 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. z 2020 poz. 61).
- [25] Obwieszczenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 26 lipca 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (Dz.U. z 2013 poz. 1619).
- [26] PN-T-06589: 2002 Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.
- [27] WOLSKA A., PAWLAK A.: Promieniowanie optyczne [w]: Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny. Pod red. W.M. Zawieski. CIOP-PIB, Warszawa 2007.