



mgr inż. ANDRZEJ PAWLAK (ORCID: 0000-0003-2735-2199)
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: anpaw@ciop.pl
 DOI: 10.54215/BP.2023.12.25.Pawlak

Ocena zagrożenia pracowników promieniowaniem nadfioletowym z wykorzystaniem modelu mobilnego systemu pomiarowego

Fot. v2osky/Unsplash



W artykule zaprezentowano opracowany w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem nadfioletowym (UV) na stanowiskach pracy. Omówiono jego konstrukcję oraz aplikację, za pomocą której steruje się przebiegiem pomiaru. Przedstawiono w skrócie metodykę badań promieniowania UV na stanowiskach pracy oraz przytoczono wyniki z porównania wskazań mobilnego systemu pomiarowego z profesjonalnym radiometrem na wybranych stanowiskach pracy.

Słowa kluczowe: promieniowanie nadfioletowe, mobilny system pomiarowy do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem nadfioletowym (UV) na stanowiskach pracy, kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym, źródła promieniowania nadfioletowego, badania porównawcze

The assessment of the risk of workers' exposure to ultraviolet radiation with the use of a mobile measuring system

The article presents a developed model mobile measurement system developed at the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB) for assessing the risk of workers' exposure to ultraviolet (UV) radiation at workstations. Its construction and the application used to control the measurement process are discussed. The methodology of UV radiation research at workstations was briefly presented and the results from the comparison of indications of a mobile measuring system with a professional radiometer at selected workstations were quoted.

Keywords: ultraviolet radiation, mobile measurement system for assessing the risk of workers' exposure to ultraviolet (UV) radiation at workstations, criteria for assessing the risk of ultraviolet radiation, sources of ultraviolet radiation, occupational risk assessment, comparative study

Wstęp

Promieniowanie nadfioletowe (UV) to promieniowanie optyczne o długości fali w przedziale od 100 nm do 400 nm. Zakres nadfioletu dzieli się na pasma: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) oraz UV-C (100-280 nm) [1]. Biologiczne zmiany w organizmie człowieka wywołane oddziaływaniem promieniowania optycznego określa się jako skutek promieniowania optycznego. Rodzaj tego skutku zależy od składu widmowego promieniowania. W przypadku promieniowania nadfioletowego mamy do czynienia z działaniem o charakterze fotochemicznym, a jego skutek biologiczny zależy od ilości pochłoniętego promieniowania (zależnego od ekspozycji), długości fali i rodzaju ekspozycyjnej tkanki. Rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje szkodliwego oddziaływania nadfioletu na organizm człowieka: na oczy oraz na skórę. Promieniowanie z zakresu średniego i dalekiego nadfioletu (UV-B i UV-C) może powodować nawet nieodwracalne zmiany rogówki i spojówki oka, a bliski nadfiolet (UV-A) powoduje zmętnienie soczewki (zaćmę) [2]. Najczęściej spotykanym i najbardziej widocznym objawem ekspozycji skóry na promieniowanie UV jest jej rumień (łac. *erythema*). Natomiast najbardziej niebezpieczny dla skóry jest zakres UV-B, który powoduje bolesne obrzęki i pęcherze [3-5]. W związku z tym należy stosować dostępne metody zapobiegania negatywnym skutkom zdrowotnym tego promieniowania [6]. Jedną z nich jest monitorowanie wartości natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym na stanowiskach pracy.

Celem artykułu jest zaprezentowanie opracowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) modelu mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem nadfioletowym na stanowiskach pracy oraz wykazanie poprawności jego wskazań w zakresie UV i UV-A wymaganym przez obowiązujące przepisy. Dodatkowo autor chciał zwrócić uwagę na problem szkodliwego oddziaływania promieniowania nadfioletowego na ludzi oraz podkreślić potrzebę monitorowania jego ekspozycji.



Fot. 1. Pomiar promieniowania UV z wykorzystaniem opracowanego modelu mobilnego systemu pomiarowego na przykładowym stanowisku pracy spawacza (strzałką zaznaczono detektor pomiarowy)

Photo 1. Measurement of UV radiation using a developed detector model to assess the risk of UV radiation at an exemplary welder's station (the arrow indicates the measurement detector)

Metodyka badań promieniowania UV na stanowiskach pracy

Metoda pomiaru promieniowania UV na stanowiskach pracy w celu oceny zagrożenia pracowników tym promieniowaniem polega na niezależnej ocenie: zagrożenia fotochemicznego rogówki i spojówki oka oraz skóry twarzy i rąk skutecznym $S(\lambda)$ natężeniem napromienienia promieniowaniem UV z zakresu 180-400 nm oraz zagrożenia fotochemicznego soczewki oka całkowitym natężeniem napromienienia promieniowaniem nadfioletowym w zakresie UV-A (315-400 nm) [7, 8]. Pomiar przeprowadza się podczas wykonywania przez pracownika typowych czynności pracy, przy badanym stanowisku pracy. W przypadku oceny zagrożenia oczu i skóry twarzy detektor pomiarowy należy trzymać jak najbliżej zagrożonych miejsc twarzy pracownika. Analogicznie ocenę zagrożenia skóry dłoni należy wykonać za pomocą detektora pomiarowego umieszczonego jak najbliżej narażonej części dłoni, od strony źródła promieniowania. We wszystkich przypadkach detektor powinien być skierowany w stronę bezpośredniego źródła promieniowania lub jego odbicia w powierzchni znajdującej się w polu widzenia pracownika. Podczas każdej oceny powinno się wykonać co najmniej 10 odczytów, przy czym trzeba się postarać o uzyskanie jak największych wartości wskazań, z których wyznacza się średnią [9]. Wymagany jest również pomiar odległości narażonych części ciała pracownika od źródła promieniowania, jednak ten wynik nie jest wykorzystywany do obliczeń oceny zagrożenia.

Sposób wykonania pomiaru promieniowania UV na przykładowym stanowisku pracy spawacza, z wykorzystaniem opracowanego modelu mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV, pokazano na fot. 1.

Kryteria oceny zagrożenia oka oraz skóry promieniowaniem nadfioletowym oraz kryteria oceny ryzyka zawodowego w zależności od wyznaczone-

go z pomiarów poziomu ekspozycji odpowiedniego dla danego rodzaju zagrożenia zdrowia są zawarte w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej [10], a ponadto zostały opisane w publikacjach [11] i [12].

Mobilny system pomiarowy

Mobilny system pomiarowy do oceny zagrożenia promieniowaniem UV składa się z detektora pomiarowego oraz opracowanej na potrzeby tego systemu pomiarowego aplikacji, która jest instalowana na urządzeniu mobilnym (smartfonie). Łączność pomiędzy detektorem pomiarowym a smartfonem odbywa się w sposób bezprzewodowy z wykorzystaniem protokołu Bluetooth Low Energy. Zapewniony jest on dzięki wbudowaniu w detektor pomiarowy modułu Espressif ESP32-WROVER. Głównym czynnikiem wpływającym na taki wybór było zapewnienie przez ten moduł obsługi wszystkich kluczowych zadań stawianych przed systemem pomiarowym zbudowanym na jego podstawie. Do takich zadań można zaliczyć:

- komunikację bezprzewodową (Bluetooth Low Energy),
- wykonanie pomiarów (12-bitowy przetwornik ADC),
- możliwość przechowania dużej ilości danych z pomiarów w urządzeniu.

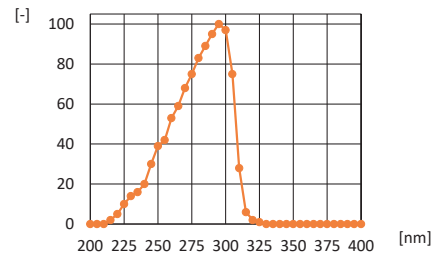
Detektor pomiarowy wraz z aplikacją umożliwia ocenę zagrożenia promieniowaniem z całego zakresu UV skorygowanego do krzywej $S(\lambda)$ oraz z zakresu UV-A – zgodnie z wymaganiami obowiązujących przepisów wykonawczych [10]. Elementami detekcyjnymi w układzie pomiarowym są dwie fotodiody. W torze pomiarowym UV zastosowano fotodiody z węgla krzem (SiC). Wypadkową, względną czułość widmową toru pomiarowego – fotodiody SiC i filtr $S(\lambda)$ – pokazano na rys. 1.

Natomiast w torze pomiarowym UV-A wykorzystano fotodiody z arsenofosforu galu (GaAsP). Ponieważ czułość widmowa tej fotodiody wynosi od 200 nm do 670 nm, w projektowanym torze pomiarowym zastosowano dedykowany filtr optyczny. Wypadkową, względną czułość widmową zestawu fotodiody GaAsP oraz filtru optycznego pokazano na rys. 2.

Model detektora jest zasilany z modułu zasilającego (akumulatorów AA) o napięciu 9 V i pojemności 2500 mAh (fot. 2). Sterowanie detektorem pomiarowym odbywa się z poziomu smartfona, z wykorzystaniem specjalnie opracowanej aplikacji do oceny zagrożenia promieniowaniem UV.

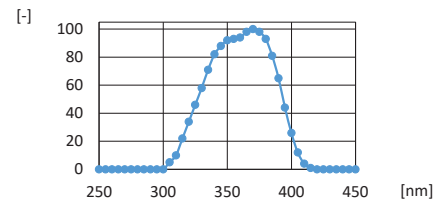
Wygląd ekranu smartfona po połączeniu się z detektorem pomiarowym przedstawiono na rys. 3a. Od tego momentu system pomiarowy jest gotowy do wykonywania pomiarów. Na ekranie smartfona prezentowane są następujące dane:

- wynik pomiarów z dwóch czujników (UV i UV-A) w W/m^2 ,
- minimalny czas pracy pracownika bez ochrony (dla obu narażeń: UV i UV-A),
- poziom ryzyka zawodowego odpowiadający wynikom z obu czujników (odpowiednia in-



Rys. 1. Wypadkowa, względną czułość widmową toru optycznego kanału pomiarowego UV – fotodiody SiC i filtr $S(\lambda)$ – o charakterystyce skorygowanej do krzywej względnej widmowej skuteczności biologicznej nadfioletu $S(\lambda)$

Fig. 1. Resultant, relative spectral sensitivity of the optical path of the UV measuring channel – SiC photodiode and $S(\lambda)$ filter – with characteristics corrected to the curve of relative spectral biological effectiveness of ultraviolet $S(\lambda)$



Rys. 2. Wypadkowa, względną czułość widmową toru optycznego kanału pomiarowego UV-A

Fig. 2. Resultant, relative spectral sensitivity of the optical path of the UV-A measuring channel

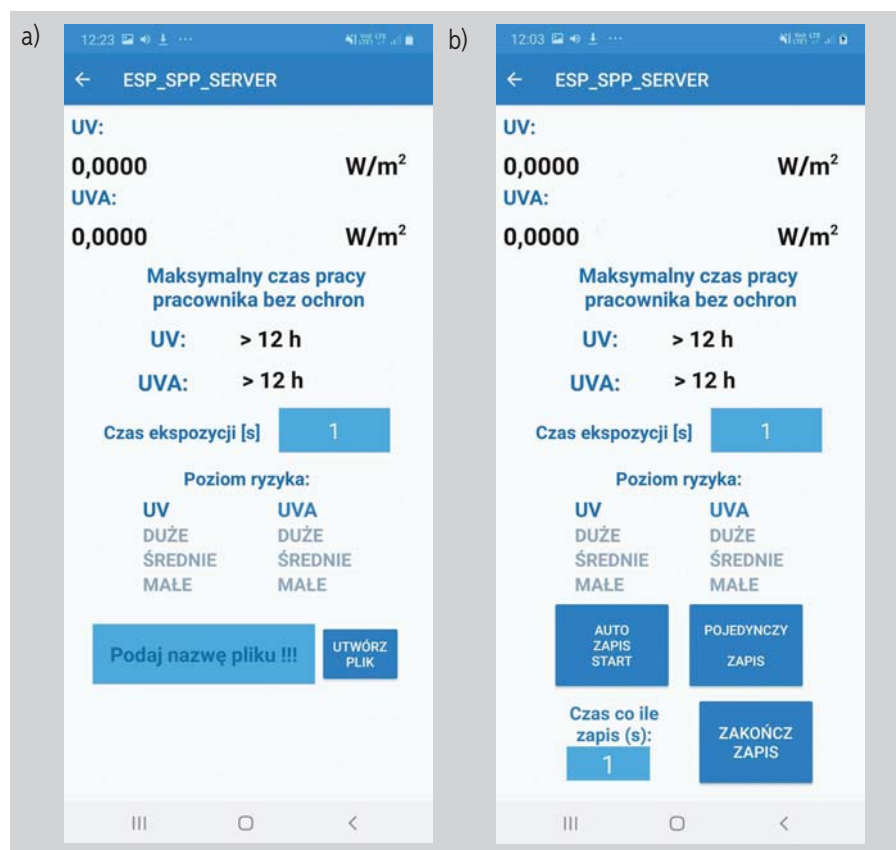


Fot. 2. Detektor pomiarowy na statywie z modulem zasilającym
Photo 2. The measuring detector on a tripod with a power supply module

formacja jest wyświetlana w kolorze: czerwonym – ryzyko duże, pomarańczowym – ryzyko średnie, zielonym – ryzyko małe).

Warunkiem wyświetlenia prawidłowego wyniku oceny ryzyka zawodowego jest wpisanie w niebieskim okienku, znajdującym się pośrodku ekranu, czasu ekspozycji w sekundach (rys. 3). W przeciwnym razie ten czas zostanie domyślnie ustawiony na 1 s. Wyniki pomiarów są odświeżane z ustalonym, stałym czasem wynoszącym ok. 1 s.

Wykonywanie pomiarów jest możliwe w dwóch wariantach – poprzez obserwację wyniku na ekranie smartfona lub zapis serii pomiarów w pamięci smartfona, w folderze przeznaczonym do konkretnych pomiarów, przy jednoczesnej obserwacji wyników na ekranie. W pierwszej opcji można nie tworzyć pliku wynikowego w pamięci smartfona – ekran smartfona będzie skonfigurowany jak na rys. 3a.

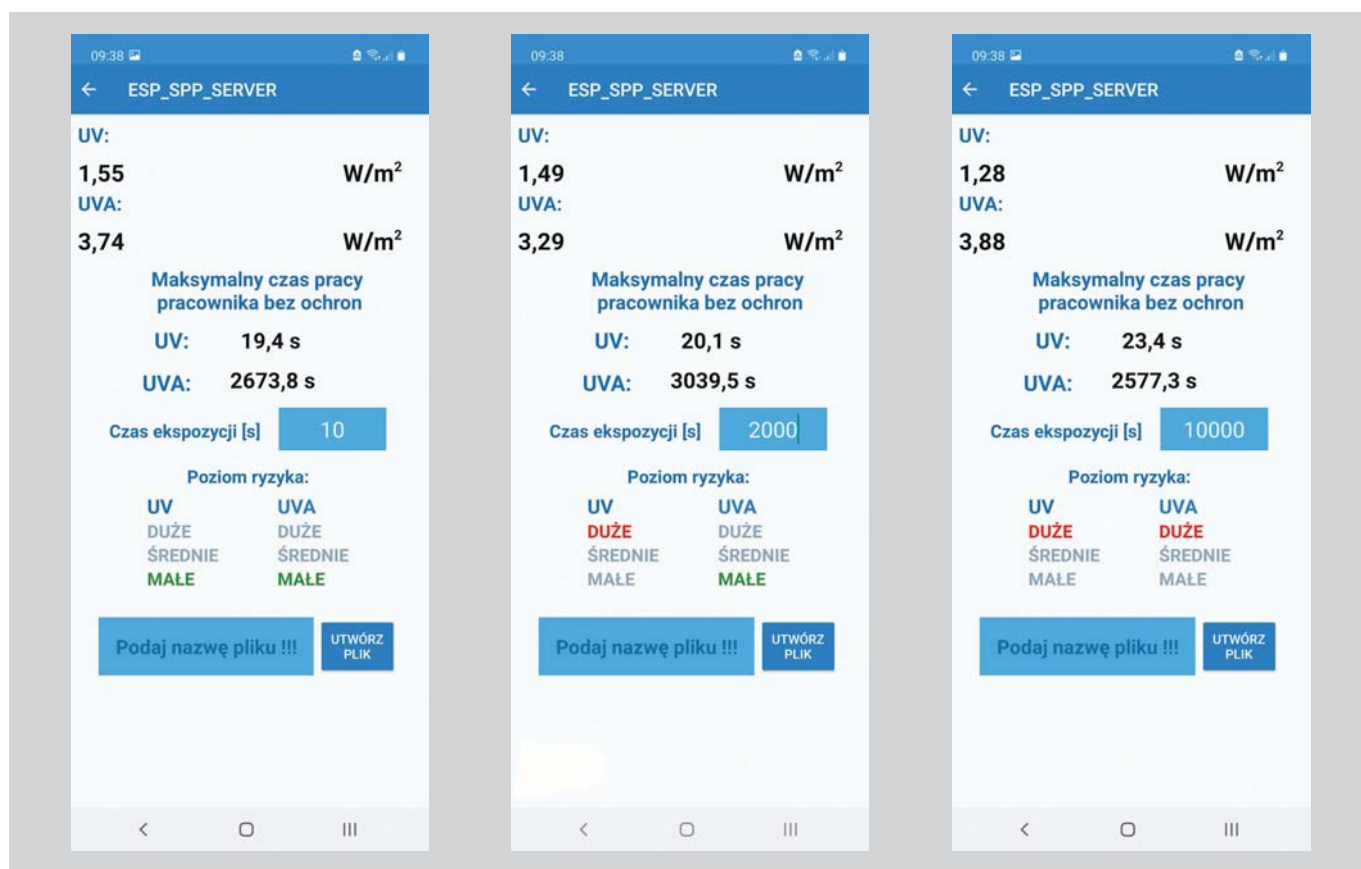


Rys. 3. Widok ekranu smartfona: a) gotowość do pomiarów, b) opcje zapisu wyników pomiarów
 Fig. 3. View of the smartphone screen: a) ready for measurement, b) options for saving measurement results

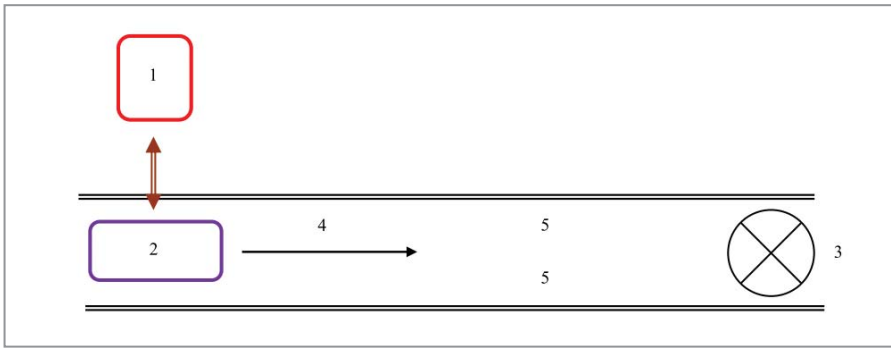
Jeżeli będzie wykonywana seria pomiarów złożona z kilku lub kilkunastu pomiarów, wówczas można wykorzystać pamięć smartfona do zapisywania wyników poprzez nadanie nazwy pliku. Następnie pojawia się opcja wyboru sposobu zapisu wyników – pojedynczej wartości lub serii wyników. W przypadku zapisu serii wyników można ustalić czasookres zapisu (w sekundach) – wartość ta jest domyślnie ustawiona na 1 s. Zapis serii pomiarów należy uruchomić za pomocą przycisku „AUTO ZAPIS START”, a zakończyć – za pomocą przycisku „ZAKOŃCZ ZAPIS” (rys. 3b).

Kalibracja mobilnego systemu pomiarowego

W celu zapewnienia poprawności wskazań modelu systemu pomiarowego opracowano metodę i stanowisko do jego kalibracji. Metoda ta polega na porównaniu wskazań modelu detektora ze wskazaniem miernika referencyjnego (odniesieniowego), oświetlanych tą samą wiązką promieniowania o znanym rozkładzie widmowym. Niepewność pomiaru miernika referencyjnego wynosiła 2,5%. Na podstawie wyników uzyskanych z kalibracji oszacowano błędy pomiarowe poprzez dokonanie oceny niepewności pomiaru promieniowania UV oraz promieniowania UV-A. Dla zakresu pomiarowego UV niepewność pomiaru wynosi 6,5%, a dla zakresu UV-A – 7,3%. Są to bardzo dobre wyniki, gdyż norma PN-EN 14255-1:2010



Rys. 4. Widok ekranu smartfona z wyświetlonymi wynikami pomiarów i oceną ryzyka
 Fig. 4. View of the smartphone screen with the measurement results and risk assessment displayed



Rys. 5. Schemat blokowy stanowiska do kalibracji modelu detektorów pomiarowych UV (1 – radiometr referencyjny [odniesieniowy], 2 – detektor pomiarowy, 3 – źródło promieniowania nadfioletowego, 4 – przesuw poziomy, 5 – ława optyczna)
 Fig. 5. Block diagram of the station for calibrating the model of UV measuring detectors (1 – reference radiometer, 2 – measurement detector model, 3 – source of ultraviolet radiation, 4 – horizontal shift, 5 – optical bench)



Fot. 3. Pomiar promieniowania UV przy wykorzystaniu opracowanego modelu mobilnego systemu pomiarowego na stanowisku spawacza – spawanie metodą MMA
 Photo 3. Measurement of UV radiation using a developed detector model to assess the risk of UV radiation at welding station – MMA welding

Tabela 1. Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla stanowiska spawacza – spawanie metodą MMA
 Table 1. Comparison of UV and UV-A radiation measurements for the MMA welding station

Ekspozowana część ciała		Odległość od źródła promieniowania [m]	Średni poziom promieniowania [W/m²]	
			Radiometr	Model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV
Oczy	rogówka i spojówka	0,35	$E_s = 6,9$	$E_s = 7,3$
	soczewka		$E_{UVA} = 28,5$	$E_{UVA} = 27,7$
Skóra twarzy			$E_s = 6,9$	$E_s = 7,3$
Skóra dłoni		0,15	$E_s = 11,6$	$E_s = 10,0$

dopuszcza niepewność rzędu 30% w przypadku pomiarów, których wyniki są porównywane z wartościami MDE, a 50% – w przypadku pomiarów bezpośrednich. Poglądowy schemat stanowiska do kalibracji pokazano na rys. 5.

Ocena poprawności wskazań opracowanego modelu mobilnego systemu pomiarowego

Poprawność wskazań tego systemu pomiarowego była sprawdzana podczas organizowanych w CIOP-PIB badań porównawczych w zakresie nielaserowego promieniowania optycznego, w których uczestniczyło 14 laboratoriów. Jako podstawowe

kryterium oceny uczestników przyjęto uzyskane wartości wskaźnika P_A (procent dopuszczalnego odchylenia). Wskaźnik P_A obliczany jest ze wzoru:

$$P_{Ai} = \frac{D_i}{\delta_E} 100\% = \frac{x_i - x_{pt}}{\delta_E} 100\%$$

gdzie:
 D_i – różnica wartości zmierzonej (x_i) i wartości przypisanej (x_{pt}) dla danego zakresu widmowego,
 δ_E – błąd maksymalny źródła.

Zgodnie z wymaganiami normy ISO 13528: 2022 [13] wynik uczestnika jest akceptowalny, jeśli:

$$|P_A| < 100\%$$

Wartość P_A była wyznaczana niezależnie dla każdego zakresu pomiarowego i każdego uczestnika. Wyniki uzyskane z mobilnego systemu pomiarowego mieściły się w przyjętym kryterium badań porównawczych, co świadczy o poprawności jego wskazań. Wartość parametru P_A dla całego zakresu UV wynosiła 27,1%, natomiast dla zakresu UV-A – 70,4%.

Badanie poprawności wskazań mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV wykonano również poprzez porównanie wyników jego pomiarów z zakresu UV i UV-A z radiometrem z dwoma sondami pomiarowymi przeznaczonymi do oceny:

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

Dla zakresu pomiarowego UV niepewność pomiaru zestawu radiometr i odpowiednia sonda pomiarowa wynosi 4,8%, a dla zakresu UV-A – 2,7%. Radiometr oraz obie sondy pomiarowe podlegają nadzorowi metrologicznemu CIOP-PIB i miały ważne świadectwa wzorcowania.

Badania porównawcze wykonano w zakładach pracy na kilkunastu stanowiskach, m.in. spawalniczych, do kontroli wzrokowej w promieniowaniu UV (przemysł elektroniczny, poligraficzny i odlewniczy – defektoskopy) oraz podczas pracy na maszynach poligraficznych – suszarki UV.

Dalej przedstawiono przykładowe stanowiska, na których wykonano te badania.

Stanowisko ręcznego spawania łukiem elektrycznym (MMA) (fot. 3)

- Materiał spawany: blacha ze stali kwasowej o grubości 3 mm,
- spoiwo: elektroda OK 6330/316L w otulinie o średnicy 2 mm,
- prąd spawania $I = 75$ A.

Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla tego stanowiska zamieszczono w tab. 1.

Stanowisko spawania gazowego (fot. 4)

- Średnica dyszy palnika: 3 mm,
- materiał spawany: rura o średnicy 100 mm ze stali St 3,
- spoiwo: drut miedziowany o średnicy 3,25 mm.

Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla tego stanowiska zamieszczono w tab. 2.

Stanowisko wzrokowej kontroli drukowanych płytek z elementami elektronicznymi (PCB)

- Czynność w narażeniu na promieniowanie UV: kontrola wzrokowa płytki PCB po procesie lakierowania,

- źródło promieniowania: dwa promienniki świetlówkowe UV-A, LF 18 W UV blacklight w oprawie z kloszem, w specjalnej obudowie.

Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla tego stanowiska zamieszczono w tab. 3.

Stanowisko kontroli wzrokowej druku na arkuszach papieru w promieniowaniu UV

- Czynność w narażeniu na promieniowanie UV: kontrola wzrokowa arkuszy,
 - źródło promieniowania: promienniki świetlówkowe UV-A BLB (365 nm) typ TLD 36W/08 – 5 szt., praca w pozycji stojącej.
- Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla tego stanowiska zamieszczono w tab. 4.

Stanowisko obsługi defektoskopu magnetyczno-proszkowego

- Czynność: kontrola wzrokowa defektów mechanicznych na pierścieniu wykonanym ze specjalnego rodzaju stali w promieniowaniu UV,
 - źródło promieniowania: oprawa UV-LED składająca się z 20 promienników LED emitujących promieniowanie o długości 365 nm; podczas wykonywania badań wszystkie promienniki LED były sprawne (fot. 5).
- Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla tego stanowiska zamieszczono w tab. 5.



Fot. 4. Pomiar promieniowania UV z wykorzystaniem opracowanego modelu mobilnego systemu pomiarowego na stanowisku spawacza – spawanie gazowe
 Photo 4. Measurement of UV radiation using a developed detector model to assess the risk of UV radiation at welding station – gas welding

Tabela 2. Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla stanowiska spawania gazowego
 Table 2. Comparison of UV and UV-A radiation measurements for the gas welding station

Eksponowana część ciała		Odległość od źródła promieniowania [m]	Średni poziom promieniowania [W/m ²]	
			Radiometr	Model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV
Oczy	rogówka i spojówka	0,45	$E_s = 0,0016$	$E_s = 0,0021$
	soczewka		$E_{UVA} = 0,025$	$E_{UVA} = 0,019$
Skóra twarzy			$E_s = 0,0016$	$E_s = 0,0021$
Skóra dłoni		0,22	$E_s = 0,0042$	$E_s = 0,0051$

Tabela 3. Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla stanowiska wzrokowej kontroli płytek PCB
 Table 3. Comparison of UV and UV-A radiation measurements for the PCB visual inspection station

Eksponowana część ciała		Odległość od źródła promieniowania [m]	Średni poziom promieniowania [W/m ²]	
			Radiometr	Model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV
Oczy	rogówka i spojówka	0,45	$E_s = 0,0002$	$E_s = 0,0002$
	soczewka		$E_{UVA} = 0,56$	$E_{UVA} = 0,50$
Skóra twarzy			$E_s = 0,0002$	$E_s = 0,0002$
Skóra dłoni		0,22	$E_s = 0,0005$	$E_s = 0,0006$

Podsumowanie

Zarówno wyniki badań porównawczych, jak i porównanie z wynikami pomiarów uzyskanymi z radiometru wskazują na poprawność wskazań modelu mobilnego systemu pomiarowego oraz jego dobrą dokładność pomiarową. Różnica wskazań obu przyrządów zawierała się w przedziale 5-24%. Tylko w jednym przypadku odnotowano wartość 24%, a dla pozostałych wyników wartość ta zawierała się w przedziale 5-12%. Należy pamiętać, że wskazania radiometru też są obciążone błędem. Ponadto powstałe rozbieżności w wynikach pomiarów na rzeczywistych stanowiskach pracy są związane ze stopniem powtarzalności usytuowania detektora pomiarowego oraz jego ukierunkowania na źródło promieniowania, a podczas spawania – z niestabilnym (pulsującym) źródłem UV (łuk spawalniczy) oraz rejestracją wartości maksymalnej.

Pracownicy służby bhp mają obecnie możliwość rozpoznania występujących w ich przedsiębiorstwach zagrożeń promieniowaniem UV, a także monitorowania oraz wykonywania kontrolnych pomiarów tego promieniowania w obszarze oczu oraz skóry twarzy i rąk podczas obecności pracownika przy stanowisku pracy za pomocą niedrogiego, prostego w obsłudze i wiarygodnego (w aspekcie wyników pomiarów) mobilnego systemu pomiarowego. W tym procesie przydatny może być opracowany w CIOP-PIB i zaprezentowany w niniejszym artykule mobilny system pomiarowy do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy.

W przypadku zapotrzebowania rynkowego na ten system pomiarowy istnieje możliwość uruchomienia jego masowej produkcji.

Tabela 4. Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla stanowiska kontroli wzrokowej arkuszy w promieniowaniu UV

Table 4. Comparison of UV and UV-A radiation measurements for the sheet visual inspection station in UV radiation

Ekspozowana część ciała		Odległość od źródła promieniowania [m]	Średni poziom promieniowania [W/m^2]	
			Radiometr	Model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV
Oczy	rogówka i spojówka	0,5 ¹⁾	$E_s = 0,0012$	$E_s = 0,0015$
	soczewka		$E_{UVA} = 0,82$	$E_{UVA} = 0,76$
Skóra twarzy			$E_s = 0,0012$	$E_s = 0,0015$
Skóra dłoni		0,95	$E_s = 0,0018$	$E_s = 0,0022$

¹⁾ Odległość oczu/twarzy wyznaczona jest od arkusza, od którego odbija się promieniowanie UV, ponieważ źródła promieniowania UV-A znajdują się powyżej linii wzroku.



Fot. 5. Widok oprawy UV-LED zamontowanej na stanowisku obsługi defektoskopu magnetyczno-proszkowego

Photo 5. View of the UV-LED luminaire mounted on the magnetic-powder flaw detector service station

Tabela 5. Wyniki porównania pomiarów promieniowania UV oraz UV-A dla stanowiska obsługi defektoskopu magnetyczno-proszkowego

Table 5. Comparison results of UV and UV-A radiation measurements for the magnetic particle flaw detector service station

Ekspozowana część ciała		Odległość od źródła promieniowania [m]	Średni poziom promieniowania [W/m^2]	
			Radiometr	Model mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia promieniowaniem UV
Oczy	rogówka i spojówka	0,5 ¹⁾	$E_s = 0,0003$	$E_s = 0,0003$
	soczewka		$E_{UVA} = 0,41$	$E_{UVA} = 0,38$
Skóra twarzy			$E_s = 0,0003$	$E_s = 0,0003$
Skóra dłoni		0,25	$E_s = 0,0031$	$E_s = 0,0035$

¹⁾ Odległość oczu/twarzy wyznaczona jest od pierścienia, od którego odbija się promieniowanie UV, ponieważ oprawa defektoskopu znajduje się poniżej linii wzroku.

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków ministra właściwego ds. pracy (zadanie nr 2.SP.07. pt. „Opracowanie mobilnego systemu pomiarowego do oceny zagrożenia pracowników promieniowaniem UV na stanowiskach pracy”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-90/E-01005 Technika świetlna. Terminologia.
- [2] LUŻYŃSKA M. Ochrona narządu wzroku przed szkodliwym działaniem promieniowania UV. Optyka. 2017, 4: 58-62.
- [3] ATA P., MAJEWSKI S. Fotostarzenie skóry – Photoaging of human skin. Przegląd Dermatologiczny. 2013, 3: 178-183.
- [4] GLIWA E., GOŹDZIAŁSKA A., JAŚKIEWICZ J. Wpływ promieniowania UV na skórę. [W:] A. Goździańska, J. Jaśkiewicz (red.), Współczesne kierunki w medycynie prewencyjnej, Kraków: Oficyna Wydawnicza AFM, 2013.
- [5] EBISZ M., BROKOWSKA M. Szkodliwe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na skórę człowieka. Hygeia Public Health. 2015, 50(3): 467-473.
- [6] ŁASTOWIECKA-MORAS E., BUGAJSKA J. Promieniowanie nadfioletowe – zasady zapobiegania negatywnym skutkom zdrowotnym. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2008, 446(11): 21-23.
- [7] PN-EN 14255-1:2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 1: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
- [8] PN-T-06589:2002 Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.
- [9] 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 (sztuczny promieniowaniem optycznym) (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16.1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz.Urz. L 114 z 27 kwietnia 2006 r., s. 38).
- [10] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1286 z późn. zm.).
- [11] WOLSKA A., PAWLAK A. Promieniowanie optyczne. [W:] W.M. Zawieska (red.), Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny, Warszawa: CIOP-PIB, 2007.
- [12] PAWLAK A. Ocena zagrożenia pracowników promieniowaniem nadfioletowym na wybranych stanowiskach pracy. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2021, 596(5): 22-27.
- [13] ISO 13528:2022. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.