

mgr inż. MARIUSZ WISŁKA (ORCID: 0000-0002-7145-6457)
dr hab. inż. AGNIESZKA WOLSKA, prof. CIOP-PIB (ORCID: 0000-0003-3912-605X)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: marwi@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0014.3447

Prezentacja aplikacji mobilnej do oceny narażenia na promieniowanie UV w otoczeniu spawania łukowego

Fot. PALEMO89/Bigstockphoto

Wstęp

Brak odpowiedniej ochrony przed promieniowaniem nadfioletowym oraz długotrwała ekspozycja na to promieniowanie, mogą doprowadzić do uszkodzeń skóry, takich jak np. erytema (czyli zaczerwienienie skóry), pigmentacja skóry – potocznie zwana opalenizną, fotostarzenie, zmiany przednowotworowe, fotouczulenie, czy nawet nowotworowe zmiany skórne [1]. Co więcej, w przypadku oczu negatywne oddziaływanie promieniowania UV może objawiać się poprzez: zapalenie rogówki i spojówki lub nawet zmiany nowotworowe oczu (rogówki). Sposobem zapobiegania tym skutkom ekspozycji na promieniowanie UV może być pomiar jego natężenia, interpretacja wyników i podjęcie działań prewencyjnych na tej podstawie. W tym celu w CIOP-PIB opracowano specjalną aplikację mobilną. Celem artykułu jest zademonstrowanie jej działania przez publikację wyników badań własnych, wykonanych z użyciem tego oprogramowania.

Informacje na temat ekspozycji na promieniowanie UV

Wartość maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE), związanej z zagrożeniem fotobiologicznym wynikającym z promieniowania nadfioletowego (E_v), wynosi $E_v = 30 \text{ J/m}^2$. Drugą wartością, związaną z możliwością uszkodzenia soczewki oka promieniowaniem nadfioletowym, jest (E_{UVA}), której wartością graniczną jest: $E_{UVA} = 10000 \text{ J/m}^2$. [2]. Spawacze znajdujący się najbliżej źródła promieniowania ultrafioletowego, którym jest np. łuk spawalniczy, bezwzględnie muszą zatem stosować odpowiednie środki ochrony indywidualnej w celu zabezpieczenia się przed problemami zdrowotnymi, jako że w ich pracy w zasadzie cały czas dochodzi do przekroczeń wymienionych wartości dopuszczalnych.

Spawacze to nie jedyne osoby, wobec których promieniowanie nadfioletowe jest czynnikiem ryzyka. Fale nadfioletu generowane przez łuk spawalniczy, rozchodzą się w całej dostępnej przestrzeni do momentu ograniczenia przez przeszkodę, którą może być np. element wyposażenia pomieszczenia spawania, ściana, osłona spawalnicza lub np. osoba postronna.

Promieniowanie nadfioletowe (bezpośrednie i odbite) może stanowić zagrożenie dla zdrowia osób postronnych pracujących lub przebywających w pobliżu miejsc, w których wykonuje się spawanie łukowe. Napromienienie promieniowaniem UV (iloczyn natężenia napromienienia i czasu ekspozycji) skóry czy oczu człowieka przebywającego w pomieszczeniu spawania nawet w obszarach oddalonych od łuku lub osłoniętych przesłonami spawalniczymi może przekraczać wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE). Stąd istotne jest takie zaprojektowanie stanowisk pracy znajdujących się w pomieszczeniu, w którym wykonuje się spawanie, aby inni pracownicy nie byli narażeni na nadmierne promieniowanie UV. Opracowana aplikacja mobilna może w tym pomóc. Umożliwia ona oszacowanie wartości natężenia napromienienia oraz dopuszczalnego czasu ekspozycji pracownika przebywającego w dowolnym miejscu pomieszczenia, a także zamodelowanie ustawienia osłon spawalniczych tak, aby ograniczyć ryzyko zawodowe. Warunkiem jest posiadanie danych pomiarowych natężenia napromienienia przy danym procesie spawalniczym i ich wpisanie do obliczeń w aplikacji. Jeśli takich danych użytkownik nie posiada, to może zakupić opracowaną w CIOP-PIB bazę danych pomiarowych dla różnych procesów spawania i wybrać wynik pomiaru dla danego procesu.

Opracowana aplikacja (bez bazy danych pomiarowych) jest dostępna bezpłatnie na stronie CIOP-PIB i może być istotnym narzędziem monitorowania zagrożeń lub ich źródeł oraz komunikowania o nich.

Słowa kluczowe: spawanie łukowe, promieniowanie nadfioletowe w otoczeniu stanowisk spawalniczych, aplikacja mobilna, ocena zagrożenia promieniowaniem UV

Presentation of a mobile application for the assessment of exposure to UV radiation in the vicinity of arc welding

Ultraviolet radiation (direct and reflected) can pose a health hazard to bystanders working or in the vicinity of arc welding. Radiant exposure of UV radiation (product of the irradiance and exposure time) of the skin or eyes of a person staying in the welding room, even in areas away from the arc or protected by welding screens, may exceed the values of the maximum permissible exposure (MPE). Hence, it is important to design workstations located in the welding room in such a way that other workers are not exposed to excessive UV radiation. The developed mobile application can help with this. It makes it possible to estimate the value of the irradiance and the allowable exposure time of an employee staying in any place in the room, as well as to model the setting of welding shields so as to reduce the occupational risk to a low level. The condition is to have measurement data of the irradiance for a given welding process and to enter them into the calculations in the application. If the user does not have such data, he can purchase a measurement database for various welding processes developed at CIOP-PIB and select the measurement result for a given welding process.

The developed application (without a measurement database) is available free of charge on the CIOP-PIB website and could be an important tool for monitoring threats or their sources and communicating about them.

Keywords: arc welding, ultraviolet radiation in the vicinity of welding stations, mobile application, UV radiation hazard evaluation

Fot. style-photography/Bigstockphot



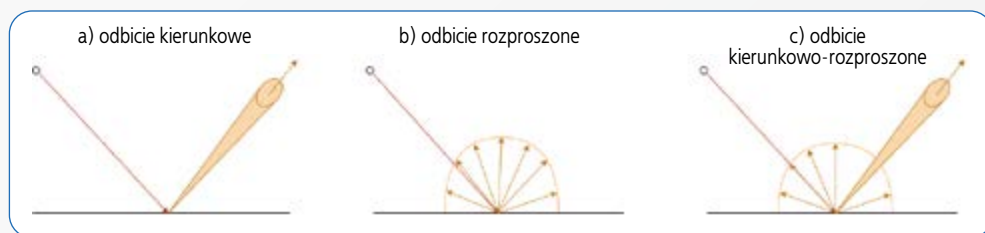
Fot. Spawacz oraz osoby znajdujące się dookoła stanowiska spawania
Photo. Welder and people around the welding station

Z podanych powodów miejsca spawania powinny być, ale nie zawsze są, jak przedstawiono np. na fot., oddzielone od innych stanowisk pracy przestronami lub ścianami, czy nawet stanowić osobne pomieszczenia. W przypadku zabudowania lub ustawienia osłony spawalniczej pozostaje jednak problem promieniowania odbitego. Jedną z jego właściwości jest to, że odbija się ono od różnych elementów (inaczej w zależności od typu promieniowania), które mogą stanowić wyposażenie stanowiska spawalniczego, znajdującego się np. w warsztacie. Takie promieniowanie odbite będzie miało do przebycia znacznie większą drogę oraz w pewnym stopniu ulegnie rozproszeniu, jednakże może się okazać, że jakaś jego część dotrze do innego stanowiska pracy i jej wartość będzie na tyle duża, że przekroczy limity MDE.

Charakterystyka badań własnych i ich wyniki

Badania przeprowadzone w CIOP-PIB na stanowisku spawania łukowego metodą MAG i MAG Pulse¹ [3] wykazały, że dopuszczalny czas ekspozycji na promieniowanie UV w odległości 4 metrów, może zawierać się w przedziale od 22 minut przy natężeniu prądu spawania 240 A do 185 minut przy natężeniu

¹ Metody spawania MAG i MAG Pulse – spawanie metodą MAG to spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazów lub ich mieszanek. Polega ono na stopianiu spawanego metalu i materiału elektrody topliwiej (druć elektrodowy) ciepłem łuku spawalniczego jarzącego się w osłonie gazowej między elektrodą topliwą a spawanym materiałem. Metoda MAG Pulse polega natomiast na przenoszeniu metalu w łuku spawalniczym dzięki regularnym, wymuszonym impulsom prądu, powodującym oddzielanie kolejnych kropli stopiwa od końca drutu elektrodowego. Podczas spawania MAG Pulse na prąd podstawowy (prąd bazy) nieprzerwanie jarzącego się łuku są nakładane krótkotrwałe impulsy prądu, pod wpływem których następuje przyspieszenie topienia końca drutu elektrodowego, formowanie i odrywanie kropli metalu. Stosując łuk pulsujący, można uzyskać przelot natryskowy ze znacznie mniejszym natężeniem prądu od natężenia prądu krytycznego [przyp. red.].



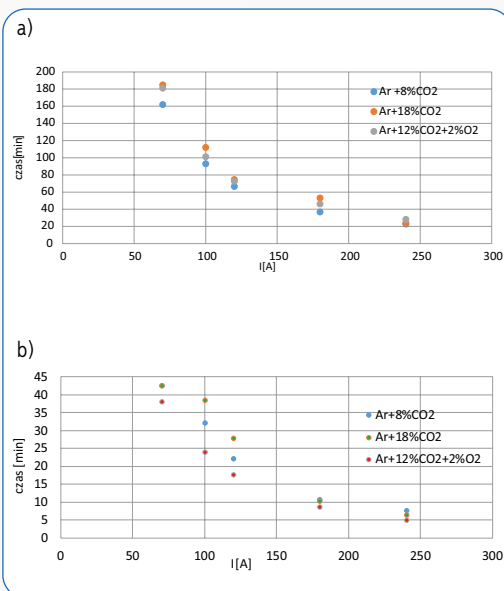
Rys. 2. Główne rodzaje odbić światła od powierzchni
Fig. 2. The main types of reflection of light from surfaces

prądu spawania 70 A – w przypadku metody MAG. W odniesieniu natomiast do metody spawania MAG Pulse wartości te zawierają się w przedziale od 5 minut przy natężeniu prądu 240 A do 42 minut przy natężeniu prądu spawania 70 A [3]. Funkcja zależności maksymalnego dopuszczalnego czasu ekspozycji od prądu spawania zaprezentowano na rys. 1. Aby zbadać różnice występujące w promieniowaniu podczas spawania metodą MAG i MAG Pulse pomiaru wykonano w obecności 3 różnych mieszanek gazów spawalniczych:

- Ar + 8% CO₂ – Argon z domieszką (8%) dwutlenku węgla
- Ar + 18% CO₂ – Argon z domieszką (18%) dwutlenku węgla
- Ar + 12% CO₂ + 2% O₂ – Argon z domieszką (12%) dwutlenku węgla i 2% tlenu.

Sonda radiometru mierzącego natężenie napromienienia nakierowana była na sufit oraz znajdowała się za przesłoną spawalniczą, 1,8 m nad podłożem, symulując w ten sposób pomiar na maksymalnej wysokości głowy człowieka.

Jak wynika z danych (rys. 1.) mogą istnieć miejsca, w których przekroczenie wartości MDE następuje bardzo szybko (nawet po 5 minutach), co oznacza, że wszystkie stanowiska pracy, znajdujące się w tym samym pomieszczeniu co stanowisko spawania, mogą być narażone na czynnik szkodliwy, którym jest promieniowanie nadfioletowe.



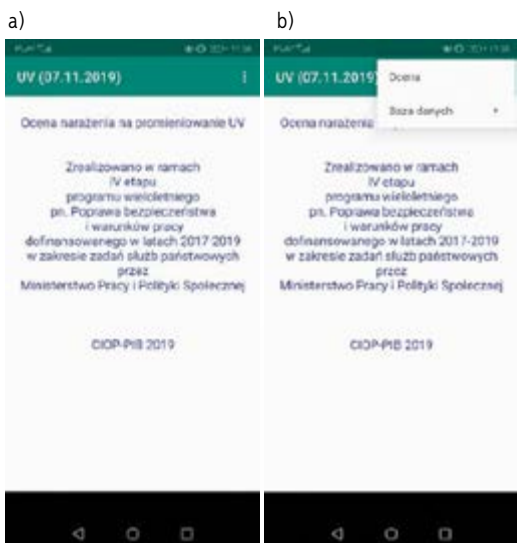
Rys. 1. Dopuszczalne czasy ekspozycji (w minutach) maksymalnej wysokości głowy przy spawaniu metodą: a) MAG b) MAG Pulse
Fig. 1. Permissible exposure times (in minutes) of the maximum head height when welding with the following method: a) MAG b) MAG Pulse

Rodzaje i zastosowanie powierzchni odbijających promieniowanie UV

Promieniowanie z zakresu nadfioletu (200-400 nm) rozchodzi się podobnie do promieniowania z zakresu widzialnego (którego zakres wynosi 380-780 nm). Energia tego promieniowania maleje wraz z odległością, ulega odbiciu, refrakcji czy absorpcji przez niektóre materiały. Analogicznie, promieniowanie nadfioletowe może odbić się na kilka różnych sposobów, w zależności od typu powierzchni, do której dotrze [4]:

- kierunkowo (odbicie zwierciadlane) – w takim przypadku większość energii przekazywana jest w jednym konkretnym kierunku (rys. 2a)
- w sposób rozproszony – energia promieniowania rozprasza się w całą dostępną półprzestrzeń (rys. 2b)
- w sposób kierunkowo-rozproszony – energia promieniowania rozprasza się w większości w jednym konkretnym kierunku, ale znaczna część promieniowania ulega rozproszeniu (rys. 2c).

Praktycznie mamy do czynienia zawsze z trzecim wariantem (c) odbicia kierunkowego, którego kształt może być zbliżony do wariantów (a) lub (b). Przykładowo wypolerowane powierzchnie metalowe lub lustra odbijają będą promieniowanie nadfioletowe prawie tak, jak zostało to ukazane w wariacie (a) powierzchni chropowate i matowe,



Rys. 3. Ekran startowy aplikacji: a) widok ekranu głównego, b) widok ekranu z otwartym menu głównym

Fig. 3. Application start screen: a) main screen view, b) screen view with the main menu open

np. pomalowana matową farbą ściana, odbijać będą promieniowanie prawie tak, jak w wariancie (b). Takie założenia są dobrym punktem wyjścia do stworzenia opisu matematycznego rozchodzenia się promieniowania. Od dłuższego czasu na rynku ogólnodostępnych jest wiele programów komputerowych, które są w stanie przybliżyć „wygląd obiektu”, na który pada światło, a nawet w niektórych przypadkach podać, jak na danym obiekcie rozkładają się wartości np. natężenia oświetlenia. Takie wartości można oszacować głównie w odniesieniu do zakresu światła widzialnego, ponieważ większość programów tworzona jest na potrzeby szczególnych obliczeń, związanych np. z natężeniem oświetlenia na stanowisku. Sytuacja komplikuje się więc w przypadku obliczeń spoza tego zakresu, czego przykładem mogą być obliczenia dotyczące promieniowania nadfioletowego oraz jego rozchodzenia się w pomieszczeniu.

Program do szacowania natężeń napromienienia

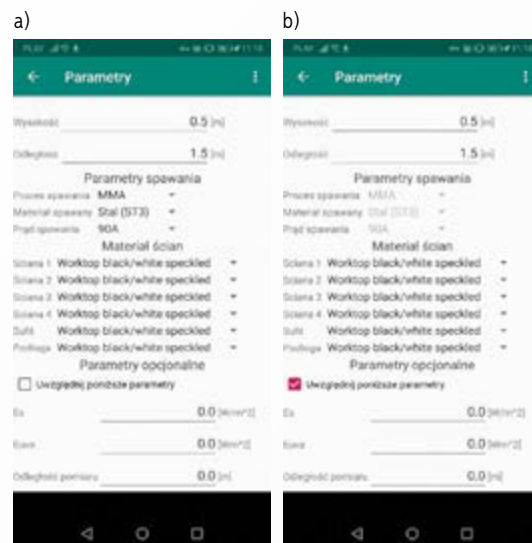
Jeżeli program ma poprawnie szacować ryzyko związane z narażeniem na promieniowanie UV, trzeba zapewnić mu odpowiednie dane, na których mógłby pracować. Niezbędne są więc w tym celu 2 elementy: wyniki pomiarów na rzeczywistych stanowiskach spawalniczych oraz parametry odbiciowe różnych materiałów, zapisane w formie funkcji odbiciowej światła, np. dwukierunkowej funkcji rozkładu odbicia (ang. *Bidirectional reflectance distribution function*, BRDF), [5]. Przykładem jest tu oprogramowanie, przeznaczone do działania na urządzeniach mobilnych, stworzone w CIOP-PIB. Zostało napisane w języku JAVA i działa na urządzeniach wyposażonych w system operacyjny Android w wersji co najmniej 7.0. Obecnie nie są planowane prace związane z innymi systemami operacyjnymi.

Na świecie pojawiają się inne podobne aplikacje. Niektóre wymagają komputera PC ze względu na niezbędne do ich uruchomienia odpowiednie biblioteki, środowiska programistyczne bądź całe systemy operacyjne i programy. Zaletami omawianego rozwiązania jest zapewnienie działania aplikacji



Rys. 4. Wybór parametrów geometrycznych i spawania, część górna

Fig. 4. Selection of geometrical and welding parameters, upper part



Rys. 5. Wybór parametrów geometrycznych i spawania, część dolna: a) aktywna część wyboru parametrów z bazy danych, b) wybór parametrów użytkownika

Fig. 5. Selection of geometric and welding parameters, lower part: a) active part of the selection of parameters from the database, b) selection of user parameters

w języku polskim oraz jej mobilność. Dodatkowym atutem jest możliwość zwiększenia ilości danych pomiarowych w aplikacji poprzez zakup pełnej wersji oprogramowania, przez co możliwa jest symulacja w odniesieniu do wielu różnych warunków jednocześnie. Głównym założeniem było stworzenie aplikacji o możliwie prostym i przejrzystym interfejsie, pozwalającej w kilku krokach, wybierając interesujące użytkownika parametry, otrzymanie szacunkowej wartości natężenia napromienienia na stanowisku pracy oraz informacje, jak długo pracownik może w takim miejscu przebywać.

Aplikacja dostępna jest na stronie CIOP-PIB do pobrania w wersji darmowej. Po jej zainstalowaniu i uruchomieniu użytkownikowi zostanie przedstawiony ekran startowy (rys. 3.). Znajdują się tam podstawowe informacje o programie oraz opcje nawigacji między kolejnymi etapami oceny.

Po wyświetleniu okna oceny użytkownik ma możliwość wpisania wartości parametrów niezbędnych do wykonania obliczeń:

- Wymiary pomieszczenia – trzy pola tekstowe, których wartości muszą być dodatnimi liczbami rzeczywistymi wyrażonymi w metrach. Wymiary to długość, szerokość oraz wysokość, wyrażone w metrach.

- Pozycja łuku spawalniczego – trzy pola tekstowe określające pozycje punktu spawania (łuku) we współrzędnych x, y, z, względem punktu 0,0 układu, wartości współrzędnych są wyrażone w metrach.

- Pozycja pracownika – hipotetyczna pozycja oka pracownika, w odniesieniu do którego dokonywane są obliczenia. Trzy pola tekstowe przyjmujące wartości rzeczywiste dodatnie, określające pozycję oka pracownika we współrzędnych x, y i z, względem punktu 0,0 układu.

- Parametry osłony – wysokość, szerokość oraz odległość określają pozycję osłony między pracownikiem a łukiem spawalniczym. Na podstawie punktów pracownika oraz łuku spawalniczego środek osłony jest ustawiany na najkrótszej prostej łączącej oba punkty, a sama osłona ustawiana jest prostopadle do podłogi.

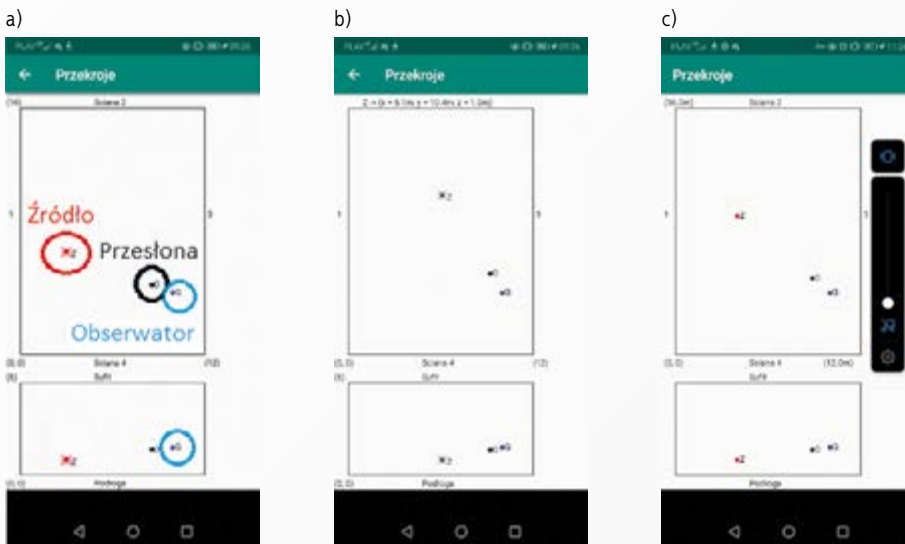
- Parametry spawania – wybór parametrów, zgodnie z którymi dokonuje się obliczeń promieniowania odbitego i bezpośredniego. W zależności od wybranych parametrów należy podać metodę spawania, następnie dokonać wyboru wartości prądu spawania oraz opcjonalnych parametrów (użytkownik niekoniecznie dostanie taką opcję wyboru po określeniu metody spawania), takie jak: materiał spawany, średnica elektrody, materiał dodatkowy, gaz osłonowy. Opcjonalne parametry w ramach danej metody mogą pojawić się albo wszystkie jednocześnie, pojedynczo lub w grupach.

- Materiał ścian – materiał, z którego zostały wykonane sufity ściany i podłogi. Materiały ścian są wybierane niezależnie w stosunku do każdej powierzchni z osobna, co oznacza, że użytkownik może przypisać różne materiały, z których wykonane zostały lub którymi zostały pokryte powierzchnie ścian sfitu oraz podłogi.

- Parametry opcjonalne – w przypadku, gdy użytkownik ma własne wyniki pomiarów, wykonanych na stanowisku pracy, może wtedy wpisać wyniki natężeń napromienienia (E_3 i E_{UVA}) oraz odległości pomiaru. Jeżeli chcemy, aby podczas obliczeń, parametry użytkownika zostały uwzględnione, należy zaznaczyć pole „uwzględnij parametry opcjonalne”. Po wybraniu tej opcji wybór „Parametrów spawania” stanie się niemożliwy, a do obliczeń zostaną przyjęte parametry użytkownika.

Użytkownik musi wybrać i wpisać w odpowiednie pola wszystkie parametry. W przypadku pominięcia któregoś z nich proces obliczeń nie zostanie przeprowadzony poprawnie lub podany zostanie błędny wynik. Widok „Parametrów spawania” przedstawiono na rys. 4. i 5.

Po wybraniu wszystkich parametrów użytkownik może albo przejść do obliczeń, jeśli jest pewny, że wszystkie elementy zostały poprawnie wybrane lub sprawdzić, czy zadana geometria zgadza się z założeniami. Do tego celu stworzone zostało okno „Przekroje”, czyli miejsce, w którym użytkownik może zobaczyć dwa przekroje pomieszczenia wraz z położeniem: łuku spawalniczego, obserwatora i przesłony. Rzut z góry i rzut z boku pozwalają wizualnie zaobserwować, gdzie znajdują się obserwator, łuk oraz



Rys. 6. Przesunięcie elementów (przesłony spawalniczej i łuku spawalniczego) na przekroju: a) przed przesunięciem, b) podczas przesuwania, c) po przesunięciu

Fig. 6. Movement of elements (welding shield and welding arc) on the cross-section: a) before the movement b) during the movement, c) after the movement

przesłona. Poza tym użytkownik może zmienić pozycję obiektów (obserwatora (G) lub łuku (Z) wracając do poprzedniego okna (Parametry) i wpisując nowe wartości lub poprzez przesunięcie obiektów w docelowe miejsce przy wykorzystaniu kursora (rysika lub palca w przypadku urządzeń z ekranem dotykowym) automatycznie zmienia pozycję obiektów na rzutach pomieszczenia. Na rys. 6. przedstawiono okna przekrojów przed przesunięciem, podczas przesunięcia i po przesunięciu łuku i osłony.

Okna te realizują hipotetyczną sytuację przedstawioną na poglądowym rys. 7.

Ostatnim oknem związanym z obliczeniami jest zakładka „Obliczenia”. Okno to ma własne opcje, pozwalające zarządzać procesem obliczeń. Ekran „Obliczenia” pokazano na rys. 8.:

- Start – Uruchamia proces obliczeń na podstawie przyjętych w oknie „Parametry” opcji.
- Stop – zatrzymuje proces obliczeń w przypadku, gdy trwają one zbyt długo i istnieje potrzeba ich zatrzymania.
- Wznów – wznowia uprzednio wykonywane obliczenia.

Aplikacja prezentuje następujące wyniki obliczeń:

- Natężenie napromienienia skuteczne aktywnie E_s : składowa bezpośrednia i odbita oraz ich suma.
- Natężenie napromienienia promieniowaniem UVA, E_{UVA} : składowa bezpośrednia i odbita oraz ich suma.

– Dopuszczalny czas ekspozycji, w odniesieniu do E_s osobno, w odniesieniu do warunków: z przesłoną lub jej brakiem.

Tak wykonane obliczenia można skopiować i wkleić jako notatkę, wysłać mailowo lub zapisać w formie tekstowej.

Podsumowanie

Promieniowanie odbite może stanowić zagrożenie również dla osób postronnych, pracujących lub przebywających w pobliżu miejsc, w których wykonuje się spawanie łukowe. Ilość energii docierająca nawet do obszarów osłoniętych może powodować przekroczenie wartości MDE. Aplikacja, która umożliwia oszacowanie wartości natężenia napromienienia

oraz dopuszczalnego czasu ekspozycji pracownika jest istotnym narzędziem monitorowania zagrożeń lub ich źródeł oraz komunikowania o nich.

Darmowa forma zaprezentowanej aplikacji ma obecnie ograniczenia w odniesieniu do liczby parametrów zawartych w lokalnej bazie danych. Liczba tych danych jest jednak wprowadzona jako przykład, a dopiero opcja z wprowadzeniem własnych danych lub zakupem większej liczby danych pomiarowych, którymi dysponuje Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, zwiększa możliwości aplikacji i dopasowuje warunki do konkretnego przypadku. Opcja podstawowa aplikacji pozwala na wpisywanie przez użytkownika własnych wyników pomiarów.

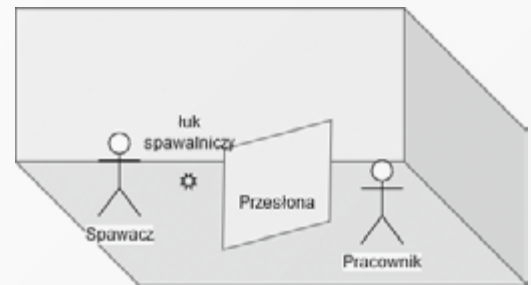
Aplikacja została w ostatnim czasie (stan na czerwiec 2020 r.) przetestowana przez grupę użytkowników, którzy jednocześnie mieli możliwość jej wstępnej weryfikacji. Zmiany i ulepszenia aplikacji będą wprowadzane na bieżąco w trakcie jej funkcjonowania. Dodatkowo, każda osoba zainteresowana rozszerzeniem bazy pomiarowej może zakupić osobną wersję oprogramowania, które ma możliwość podłączenia się do zewnętrznej bazy danych zawierającej większą liczbę wyników pomiarów. W oferowanej bazie danych znajduje się kilkaset unikatowych pomiarów, a sama baza będzie rozszerzana wraz z nowymi pomiarami.

BIBLIOGRAFIA

[1] WOLSKA, A., PAWLAK, A. Skutki biologiczne oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka, [https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/mobi?_nfpb=true&_pageLabel=P39200118761482245057910&html_tresc_root_id=300006274&html_tresc_id=300006263&html_klucz=300004753&html_klucz_spis=\(dostęp: 16.06.2020\).](https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/mobi?_nfpb=true&_pageLabel=P39200118761482245057910&html_tresc_root_id=300006274&html_tresc_id=300006263&html_klucz=300004753&html_klucz_spis=(dostęp: 16.06.2020).)

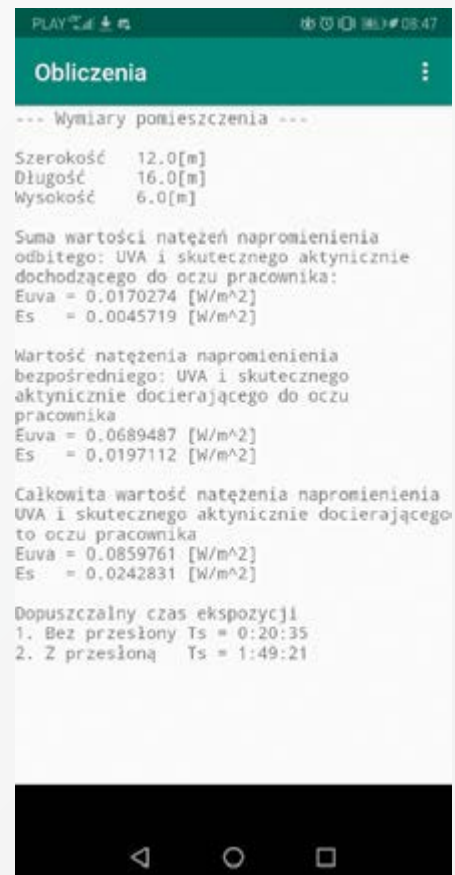
[2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne Dz.U. z 2010 Nr 100 poz. 643.

[3] WOLSKA, A., WISEKKA, M. Opracowanie narzędzia komputerowego do obliczania poziomu potencjalnego narażenia pracowników na rozproszone promieniowanie nadfioletowe w procesach spawania elektrycznego, „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” – IV etap 1.01.2017 – 31.12.2019, 1.G.13, etap 1.



Rys. 7. Widok przestrzenny umiejscowienia elementów. Elementem dodatkowym jest spawacz nieuwzględniany w obliczeniach

Fig. 7. The spatial view of the location of elements. An additional element is a welder not included in the calculations



Rys. 8. Wynik przykładowego raportu z wykonanych obliczeń

Fig. 8. The result of an exemplary report on the performed calculations

[4] TABAKA, P. Klasyfikacja odbicia światła od materiałów stosowanych na odbłyśniki. Seminarium Polsko-Ukraińskie. Problemy Elektroenergetyki, Łódź 11-12 czerwca 2007 r. s. 253-256.

[5] KURACHI, N. The Magic of Computer Graphics. A K Peters/CRC Press, USA, New York, 2011, ISBN 9780429061707.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.