

Agnieszka Wolska

OCENA NARAŻENIA ZAWODOWEGO SPAWACZY NA PROMIENIOWANIE NADFIOLETOWE I „ŚWIATŁO NIEBIESKIE” PODCZAS SPAWANIA METODĄ TIG I MMA NA PODSTAWIE WYNIKÓW POMIARÓW NA STANOWISKACH PRACY

OCCUPATIONAL EXPOSURE OF WELDERS TO ULTRAVIOLET AND “BLUE LIGHT” RADIATION
EMITTED DURING TIG AND MMA WELDING BASED ON FIELD MEASUREMENTS

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute
for Labour Protection – National Research Institute, Warszawa, Poland
Zakład Techniki Bezpieczeństwa / Safety Engineering Department

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem artykułu było przedstawienie wyników badań poziomu promieniowania nadfioletowego i „światła niebieskiego” oraz potencjalnego i „rzeczywistego” narażenia zawodowego na to promieniowanie, wykonanych na stanowiskach pracy w przemyśle, na których stosowane były dwie metody spawania: MMA i TIG. **Materiał i metody:** Badania wykonano na 13 stanowiskach pracy w przemyśle (spawanie TIG – 6 stanowisk, spawanie MMA – 7 stanowisk), na których stosowane były różne parametry spawania i materiały spawane. Pomiar parametrow promieniowania optycznego wykonano radiometrem z zestawem sond o charakterystykach widmowych odpowiednio dobranych do ocenianego zagrożenia. Pomiar wykonano przy oczach i przy ręce znajdującej się najbliżej łuku. **Wyniki:** Największe poziomy natężenia napromienienia oczu występowały przy spawaniu aluminium metodą TIG i wynosiły odpowiednio – dla nadfioletu aktywnego: $E_s = 7,79\text{--}37,6 \text{ W/m}^2$, dla UVA: $E_{UVA} = 18\text{--}53,1 \text{ W/m}^2$ i dla „światła niebieskiego”: $E_B = 35\text{--}67 \text{ W/m}^2$. Wyznaczony dozwolony czas ekspozycji oczu wynosił 1,7–75 s, co oznacza, że w niektórych przypadkach nawet niezamierzona krótkotrwała ekspozycja oczu powoduje przekroczenie maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE). **Wnioski:** Stwierdzono wpływ materiału spawanego i rodzaju otuliny elektrod topliwych na występujący poziom promieniowania. Odnotowano przekroczenia wartości MDE dla zagrożenia fotochemicznego oczu i skóry promieniowaniem UV i „światłem niebieskim”. Niewłaściwe stosowanie ochron oczu i twarzy polegające na rozpoczynaniu spawu bez zasłoniętej przyłbicy oraz nieosłonięcie skóry rąk, głowy i szyi może wywołać skutki szkodliwe dla zdrowia – zarówno ostre, jak i chroniczne. Istotne jest więc nie tylko prawidłowe dobranie ochron, ale także ich właściwe stosowanie. Med. Pr. 2013;64(1):69–82

Słowa kluczowe: spawalnictwo, promieniowanie, promienie nadfioletowe, narażenie zawodowe

ABSTRACT

Background: The aim of the study was to present the results of welders' occupational exposure to “blue light” and UV radiation carried out at industrial workstations during TIG and MMA welding. **Materials and methods:** Measurements were performed at 13 workstations (TIG welding: 6; MMA welding: 7), at which different welding parameters and materials were used. The radiation level was measured using a wide-range radiometer and a set of detectors, whose spectral responses were adequately fit to particular hazard under study. The measurement points corresponded with the location of eye and hand. **Results:** The highest values of eye irradiance were found for aluminum TIG welding. Effective irradiance of actinic UV was within the range $E_s = 7.79\text{--}37.6 \text{ W/m}^2$; UVA total irradiance, $E_{UVA} = 18\text{--}53.1 \text{ W/m}^2$ and effective blue-light irradiance $E_B = 35\text{--}67 \text{ W/m}^2$. The maximum allowance time ranged from 1.7 to 75 s, which means that in some cases even unintentional very short eye exposure can exceed MPE. **Conclusions:** The influence of welded material and the type of electrode coating on the measured radiation level were evidenced. The exceeded value of MPE for photochemical hazard arising for the eyes and skin was found at all measured workstations. Welders should use appropriately the eye and face protective equipment and avoid direct staring at welding arc when starting an arc-welding operation. Besides, the lack of head and neck skin protection can induce acute and chronic harmful health effects. Therefore, an appropriate wear of personal protective equipment is essential for welders' health. Med Pr 2013;64(1):69–82

Key words: welding, radiation, ultraviolet rays, occupational exposure

Adres autorki: Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: agwol@ciop.pl
Nadesłano: 26 października 2012, zatwierdzono: 13 grudnia 2012

WSTĘP

Spawanie polega na łączeniu materiałów przez ich nagrzanie i stopienie w miejscu łączenia z dodaniem lub bez dodania spoiwa. W zależności od źródła ciepła różni się: spawanie elektryczne, gazowe i termitytowe. Najczęściej wykorzystywanym źródłem ciepła w spawalnictwie w Polsce jest łuk elektryczny (1), który jest wyładowaniem elektrycznym w atmosferze gazów i par metali. Wyróżnia się następujące metody spawania łukowego:

- z elektrodą topliwą, w tym przede wszystkim z elektrodą otuloną (manual metal arc – MMA) oraz z drutem topliwym (drut elektrodowy) w osłonie gazu aktywnego (metal active gas – MAG) lub w osłonie gazu obojętnego (metal inert gas – MIG);
- z elektrodą nietopliwą (tungsten inert gas – TIG) – wolframową w osłonie gazu obojętnego.

Łuk spawalniczy jest źródłem emitującym promieniowanie optyczne z zakresu promieniowania nadfioletowego (ultra violet – UV), widzialnego (visible – VIS) i podczerwonego (infrared – IR). Poziomy promieniowania optycznego z zakresu nadfioletu i promieniowania widzialnego, które są emitowane podczas spawania łukowego, należą do najwyższych spośród sztucznych źródeł nielaserowego promieniowania optycznego i mogą stanowić o zagrożeniu dla zdrowia spawaczy (2–7). Oprócz bezpośredniego promieniowania optycznego pochodzącego od łuku elektrycznego występuje również promieniowanie odbite od powierzchni otoczenia oraz od spawanego materiału i jeziorka spawalniczego. Widmo promieniowania optycznego emitowanego podczas procesu spawania zależy od metody spawania i parametrów spawania, takich jak m.in. natężenie prądu i napięcie spawania, długość łuku, temperatura łuku i rozkład temperatury w łuku, średnica i materiał, z którego wykonana jest elektroda, a także materiał spawany.

Przy spawaniu ręcznym lub półautomatycznym długość łuku w czasie spawania nie jest stała, a tym samym rozkład temperatury w łuku i emitowane promieniowanie się zmienia. Poziom promieniowania docierającego do spawacza zależy nie tylko od widma promieniowania emitowanego przez łuk spawalniczy i materiałów zastosowanych do spawania, ale również od położenia (odległości) eksponowanych części ciała spawacza względem łuku spawalniczego. Potencjalne narażenie na promieniowanie optyczne spawacza stosującego daną metodę spawania może więc znacznie się różnić już przy zmianie jednego z ww. czynników. Ponadto istotny wpływ na

zagrożenie promieniowaniem optycznym ma całkowity czas ekspozycji pracownika w ciągu zmiany roboczej, który odpowiada łącznemu czasowi ekspozycji na promieniowanie łuku.

Ocena narażenia zawodowego spawaczy na czynniki szkodliwe jest prowadzona od lat i ukierunkowana na badania związków chemicznych występujących w pyłach/dymach (1,8,9), pola elektromagnetycznego (10–12), a także promieniowania optycznego (6,7,13,14). Badania wykazały przekroczenia większości normatywnych higienicznych, co świadczy o szczególnym zagrożeniu dla zdrowia spawaczy i w efekcie możliwości występowania u nich wielu chorób zawodowych.

Mimo że od dawna wiadomo, iż podczas spawania występuje intensywne promieniowanie optyczne stanowiące o szkodliwości dla zdrowia, a wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN) dla promieniowania optycznego jako czynnika szkodliwego w środowisku pracy ustanowiono od 1991 r. rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 21 października 1991 r. (15), to badania narażenia zawodowego na stanowiskach spawaczy wykonywane były w naszym kraju rzadko. Dopiero w 2010 r. wprowadzenie do prawa krajowego wymagań Dyrektywy 2006/25/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) (16) spowodowała, że pracodawcy zaczęli częściej zlecać wykonywanie badań promieniowania optycznego na stanowiskach pracy, w tym na stanowiskach spawaczy.

Rozporządzeniem 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 (17) został nałożony obowiązek dokonania i zakres oceny ryzyka zawodowego związanego z tym czynnikiem, a Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (18) zostały ustalone nowe wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie optyczne.

Zgodnie z zapisami pierwszego z ww. rozporządzeń (17) poziom ekspozycji jest to poziom promieniowania po uwzględnieniu środków ochrony zbiorowej, zastosowanych w celu ograniczenia ekspozycji pracownika na promieniowanie optyczne. Wyznaczone wartości poziomów ekspozycji eksponowanych części

ciała (bez uwzględnienia stosowanych środków ochrony indywidualnej) porównuje się z odpowiednimi wartościami MDE dla poszczególnych rodzajów zagrożeń powodowanych tym promieniowaniem, określonych w rozporządzeniu z dnia 29 listopada 2001 r. (18). Ryzyko zawodowe określa się na podstawie danych o poziomie ekspozycji pracownika bez stosowania środków ochrony indywidualnej, a następnie sprawdza się współczynnik tłumienia stosowanych ochron i określa, czy stosowane ochrony ograniczają ryzyko zawodowe do małego.

Szkodliwe działanie promieniowania optycznego odnosi się do oczu i skóry. Do podstawowych zagrożeń, które powinno się uwzględnić na stanowisku spawacza łukiem elektrycznym, należą:

- zagrożenie fotochemiczne rogówki i spojówki oczu oraz skóry promieniowaniem UV (180–400 nm – tzw. zagrożenie aktywnicze),
- zagrożenie fotochemiczne soczewki promieniowaniem UVA (315–400 nm),
- zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka promieniowaniem z zakresu 300–700 nm (tzw. światło niebieskie (17)),
- zagrożenie termiczne siatkówki oka promieniowaniem VIS+IRA (380–1400 nm),
- zagrożenie termiczne rogówki i soczewki promieniowaniem IRA+IRB (780–3000 nm).

Najczęstsze i największe przekroczenia wartości MDE występują dla zagrożeń fotochemicznych: promieniowaniem UV i „światłem niebieskim” (6,7). Procesy fotochemiczne zachodzą w efekcie absorpcji molekularnej promieniowania w tkankach i już przy małych poziomach gęstości mocy oraz przy jednoczesnej wysokiej absorpcji promieniowania przez tkankę odpowiadają za jej uszkodzenia. Skutek biologiczny zależy od ilości pochłoniętego promieniowania, długości fali i rodzaju ekspozowanej tkanki (oczu, skóra).

Oddziaływanie fotochemiczne ma charakter sumacyjny, przez co zmiany chorobowe mogą występować na skutek serii dawek promieniowania optycznego. Z tego względu przy wyznaczaniu poziomu ekspozycji przy zagrożeniach fotochemicznych uwzględnia się całkowity czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej. Skutki szkodliwe związane z zachodzącymi w tkankach oczu i skóry reakcjami fotochemicznymi, w podziale na skutki ostre i chroniczne, przedstawiono w tabeli 1. Skutki ostre występują maksymalnie do 24 godzin po ekspozycji, natomiast przewlekłe – znacznie później, często na skutek wieloletniej ekspozycji na to promieniowanie.

Nie wszystkie przedstawione w tabeli 1. skutki szkodliwe dla zdrowia człowieka w wyniku ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe i „światło niebieskie” znajdują się na liście chorób zawodowych, związanych z tym promieniowaniem. W Polsce do chorób zawodowych powodowanych tym promieniowaniem zalicza się (22):

- ostre zapalenie spojówek wywołane nadfioletem,
- zaciemnienie wywołaną długofalowym nadfioletem,
- centralne zmiany zwyrodnieniowe siatkówki i naczyńówki wywołane promieniowaniem widzialnym z obszaru widma niebieskiego,
- fotodermatozy zawodowe (jednoczesne oddziaływanie nadfioletu i czynników fotouczulających lub fototoksycznych występujących w środowisku pracy),
- nowotwór skóry (z rodzaju nieczerniakowatych i czerniak skóry).

Dane dotyczące zarejestrowanych ww. chorób zawodowych w Polsce wykazują ogólnie małą liczbę zachorowań (np. w latach 1990–2005 zarejestrowanych było łącznie 28 przypadków – na podstawie niepublikowanych danych Centralnego Rejestru Chorób Zawodowych). Zgodnie z tymi danymi spawacze stanowili najliczniejszą grupę zawodową, w której najczęściej występowały choroby zawodowe związane z oddziaływaniem promieniowania optycznego – takie jak zaciemnienie, choroby siatkówki i naczyńówki oraz rak skóry (w tym czerniak). Stwierdzono też występowanie zaciemnienia u spawaczy jako wynik wieloletniej pracy przy stosowaniu niewłaściwie dobranych lub niewłaściwie stosowanych ochron oczu (19).

Według Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) istnieje silny związek między występowaniem czerniaka oka u spawaczy a promieniowaniem UV emitowanym podczas spawania, dlatego promieniowanie to zalicza się do grupy 1. czynników rakotwórczych (20). Powyższe dane potwierdzają konieczność oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym na stanowiskach spawalniczych, ponieważ mimo obowiązku stosowania przez spawaczy środków ochrony indywidualnej, w tej grupie pracowników występują choroby zawodowe oraz inne skutki szkodliwe związane z ekspozycją na to promieniowanie.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników badań poziomu promieniowania nadfioletowego i „światła niebieskiego” oraz potencjalnego narażenia zawodowego na to promieniowanie, przeprowadzonych na stanowiskach pracy w przemyśle, na których stosowane były dwie metody spawania: MMA i TIG.

Tabela 1. Rodzaje uszkodzeń fotochemicznych powodowanych przez promieniowanie optyczne
Table 1. Types of photochemical injuries caused by optical radiation

Zakres promieniowania Range of radiation	Narząd Organ	Rodzaj uszkodzeń fotochemicznych Type of photochemical injuries		Uwagi Comments
		skutek ostry acute effect	skutek chroniczny chronic effect	
UV: 180–400 nm	oko: rogówka / / eye: cornea	zapalenie rogówki / / photokeratitis	skrzydlik / pterygium	u spawaczy występuje często łączne świetlnie zapalenie spojówki i rogówki / / photo-kerato-conjunctivitis often occurs among welders
	oko: spojówka / / eye: conjunctiva	zapalenie spojówki / / conjunctivitis	–	
	oko: soczewka / / eye: lens	–	zaćma fotochemiczna / / photochemical cataract	dotyczy głównie UVA (zakres: 315–400 nm), stwierdzone występowanie u spawaczy (19) / this concerns mainly UVA (range: 315–400 nm), cases found among welders (19)
	oko / eye	–	czerniak oka / ocular melanoma	stwierdzone występowanie u spawaczy (20) / / cases found among welders (20)
	skóra / skin	erytema / erythema oparzenie „słoneczne” / / „sunburn” fotodermatozy / / photodermatoses	fotostarzenie / photoaging rak skóry (czerniak podstawno-, płasko- i kolczastokomórkowy) / / skin cancers (malignant melanoma, basal cell and squamous cell carcinoma)	stwierdzono występowanie raka skóry u spawaczy / skin cancer was found among welders
„Światło niebieskie”: 300–700 nm / “Blue light” 300–700 nm	oko: siatkówka / / eye: retina	fotochemiczne uszkodzenie siatkówki (stany zapalne i zwyrodnieniowe siatkówki) / / photochemical injuries of the retina (photoretinitis)	–	stwierdzone przypadki występowania u spawaczy (21) / cases found among welders (21)

MATERIAŁ I METODY

Badane stanowiska spawalnicze

Przedstawione wyniki badań prowadzonych na różnych stanowiskach spawalniczych w przemyśle dotyczą 13 stanowisk, na których stosowane było spawanie łukowe – metodą TIG (6 stanowisk) i metodą MMA (7 stanowisk). Badania wykonane były w różnych przedsiębiorstwach z gałęzi przetwórstwa przemysłowego, głównie zajmujących się produkcją wyrobów z metali oraz produkcją maszyn i urządzeń.

Podstawowe parametry spawania na badanych stanowiskach spawalniczych zostały scharakteryzowane w tabeli 2.

Metoda wykonywania badań

Przyjęta w badaniach ogólna procedura wykonywania oceny ekspozycji na promieniowanie optyczne na stanowiskach pracy była zgodna z zaleceniami zawar-

tymi w normach PN-EN 14255-1 (23) oraz PN-EN 14255-2 (24). Kryteria oceny zagrożenia przyjęto zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE (16) i rozporządzeniami Ministra Pracy i Polityki Społecznej (17,18). Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów parametrów promieniowania dokonywano analizy zadania roboczego, która polegała na określeniu:

- metody spawania i rodzaju gazu osłonowego (jeśli występuje);
- parametrów spawania takich, jak natężenie prądu, rodzaj/typ elektrody i jej średnica, występowanie dodatkowego materiału wprowadzanego jako spoiwo, rodzaj spawanego materiału;
- możliwości występowania promieniowania odbitego lub rozproszonego na materiałach, urządzeniach itp.;
- odległości ekspozowanych części ciała od łuku spawalniczego;
- szacunkowej długości łuku;

Tabela 2. Podstawowe parametry spawania na badanych stanowiskach spawalniczych
Table 2. Main welding parameters at welding workstations

Nr stanowiska No. of workstation	Rodzaj elektrody lub drutu elektrodowego – rodzaj spoiwa Type of electrode or electrode wire – welding binder	Średnica elektrody (drutu spoiwa) Diameter of electrode (binder wire) [mm]	Natężenie prądu spawania Welding current [A]	Rodzaj spawanego materiału Type of welded material
Metoda TIG w osłonie argonu / Argon shielded TIG welding method				
1	wolframowa – pręt aluminiowy / tungsten – aluminum wire	4 (4)	200	aluminum
2	wolframowa – pręt aluminiowy / tungsten – aluminum wire	2 (2)	200	aluminum
3	wolframowa – drut ze stali nierdzewnej austenicznej / tungsten – austenitic stainless steel wire	2 (2)	83	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
4	wolframowa / tungsten	1,60	60	stal węglowa / carbon steel
5	wolframowa / tungsten	1,60	50	stal wysokostopowa / high alloy-steel
6	wolframowa / tungsten	3,25	98	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
Metoda MMA / MMA welding method				
7	otulona zasadowa / basic coating	3,25	130	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
8	otulona zasadowa / basic coating	4,00	180	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
9	otulona rutyłowa / rutile coating	2,25	80	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
10	otulona rutyłowa / rutile coating	3,25	90	stal niskostopowa (St3) / low alloy-steel (St3)
11	otulona rutyłowa / rutile coating	3,25	100	stal trudnościeralna / abrasion resistant steel
12	otulona rutyłowo-kwaśna / acid-rutile coating	3,20	120	stal żaroodporna / fire resistant steel
13	otulona rutyłowo-kwaśna / acid-rutile coating	4,00	120	stal niskowęglowa / low carbon steel

TIG – spawanie elektrodą wolframową w osłonie gazu obojętnego / tungsten inert gas welding.

MMA – ręczne spawanie łukowe metali / manual metal arc welding.

- wielkości kąta widzenia łuku (na podstawie wyznaczonej długości łuku i odległości oczu pracownika od łuku spawalniczego, zgodnie z PN-T 05687 (25));
- jednorazowego czasu ekspozycji, który odpowiada czasowi nieprzerwanego wykonywania jednego spawu przy jarzeniu się łuku (na podstawie serii co najmniej 3 pomiarów czasu);
- całkowitego czasu ekspozycji (t_c), który wyznaczano na podstawie iloczynu czasu ekspozycji niezbędne do wykonania jednego spawu i liczby wykonywanych spawów w ciągu zmiany roboczej;
- rodzaju stosowanych środków ochrony indywidualnej (przyłbic/tarczy, rękawic, ubrania, nakrycia głowy).

Następnie w wyznaczonych odległościach potencjalnie ekspozowanych części ciała (przyjmowanych standardowo jako oczy, twarz, ręce) wykonano pomiary para-

metrów promieniowania optycznego z wykorzystaniem radiometru ILT 1700 (prod. International Light, USA) z odpowiednio dobranymi sondami pomiarowymi, do zakresu promieniowania oraz rozpatrywanego zagrożenia, zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. (17) oraz norm technicznych (23–26). Pomiary promieniowania optycznego wykonywano bez ochrony indywidualnych oraz wyznaczano współczynnik tłumienia danej ochrony. Zakres badań promieniowania optycznego obejmował następujące pomiary:

- E_s – skutecznego natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym – tzw. nadfiolet aktywny (ocena zagrożenia fotochemicznego rogówki i spojówki oka oraz skóry) z wykorzystaniem sondy SED 240/ACT5/W (prod. International Light

Technologies, USA); sonda pomiarowa skorygowana do względnej skuteczności aktywności – $S(\lambda)$, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. (17) i PN-T-06589 (25);

- E_{UVA} – całkowitego natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym w zakresie UV-A (ocena zagrożenia fotochemicznego soczewki oka) z wykorzystaniem sondy SEL 033/UVA/TD (prod. International Light Technologies, USA);
- E_B – skutecznego natężenia napromienienia siatkówki „światłem niebieskim” (ocena zagrożenia fotochemicznego siatkówki) z wykorzystaniem sondy SED 033/SCS 395/TBLU/TD (prod. International Light Technologies, USA); sonda pomiarowa skorygowana do względnej skuteczności widmowej wywoływania uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka przez „światło niebieskie” $B(\lambda)$, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. (17) i PN-T-05687 (26).

Na podstawie wyznaczonych z pomiarów wartości średnich natężenia napromienienia dla nadfioletu (E_s i E_{UVA}) wyznaczono napromienienie (H_s i H_{UVA}) jako iloczyn natężenia napromienienia i całkowitego czasu ekspozycji (zgodnie z: 17,25), które przyjmowano jako potencjalne poziomy ekspozycji i porównywano z odpowiednimi wartościami MDE. Wartość skutecznego natężenia napromienienia „światłem niebieskim” była bezpośrednio porównywana z wartością MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka, która wyznaczana była przy uwzględnieniu odpowiedniego całkowitego czasu ekspozycji. Na wszystkich badanych stanowiskach spawania wielkość kąta widzenia łuku była mniejsza od 11 mrad, czyli źródło promieniowania przyjmuje się jako małe (18).

WYNIKI

Wyniki pomiarów parametrów promieniowania optycznego dla oczu i skóry dłoni oraz wartości MDE, zgodnie z obowiązującymi przepisami (16,18), na badanych spawalniczych stanowiskach pracy przedstawiono w tabeli 3. Wyznaczone w tej tabeli wartości napromienienia odnoszą się do potencjalnego narażenia, tj. nie stosowania środków ochrony indywidualnej i dla czasu całkowitej ekspozycji odpowiadającego czasowi spawania w ciągu zmiany roboczej. Przedstawione wyniki pomiarów natężenia napromienienia skóry dotyczą prawej dłoni, ponieważ na badanych stanowiskach spawalniczych ta dłoń była najbliżej łuku i poziom natężenia napromienienia, na które była narażona, był największy.

Chociaż w większości przypadków spawacze używają ubrania z długim rękawem i rękawic ochronnych podczas spawania, to zdarzają się przypadki nienakładania rękawic (zwłaszcza przy małych natężeniach prądu spawania i małych średnicach elektrod – poniżej 2 mm) lub odsłonięcia skóry przedramion (krótki rękaw) i szyi. Z tego względu przedstawiono również potencjalne narażenie skóry rąk.

W celu określenia, jaki może być „rzeczywisty” poziom narażenia oczu i twarzy spawaczy występujący podczas rzeczywistego narażenia na łuk spawalniczy – tj. podczas rozpoczynania spawania bez stosowania ochrony oczu i twarzy – przyjęto, że na wszystkich badanych stanowiskach spawalniczych jednorazowy czas ekspozycji na łuk wynosi średnio 2 s, a liczba wykonanych dziennie spawów wynosi 15 lub 50. Jako „rzeczywisty” całkowity czas ekspozycji oczu przyjęto więc na wszystkich badanych stanowiskach 30 s i 100 s, a wyniki oceny narażenia oczu przedstawiono w tabeli 4.

Analizując wyniki pomiarów aktywności natężenia napromienienia (E_s), można zauważyć, że wartości tego parametru są dużo wyższe dla skóry dłoni niż dla oczu, co wynika z bliższego położenia dłoni względem łuku spawalniczego. W przypadku spawania elektrodami topliwymi (spawanie MMA) w trakcie spawania zmniejsza się odległość dłoni względem łuku, co wynika ze skracania się elektrody w czasie spawania, a narażona jest przede wszystkim skóra dłoni, w której trzymana jest elektroda. Z kolei w przypadku spawania metodą TIG bez wprowadzania materiału dodatkowego na spoinę narażona jest przede wszystkim ta dłoń, w której trzymana jest elektroda, ale jest to elektroda nietopliwa i nie zmienia się odległość skóry dłoni od łuku w czasie spawania. Kiedy jednak w metodzie tej wprowadzany jest dodatkowo materiał na spoinę, to spawacz trzyma w drugiej dłoni pręt spoiny i obie dłonie są narażone na promieniowanie optyczne.

Porównując wyniki pomiarów omawianych parametrów promieniowania, można zauważyć, że ich największe wartości występowały podczas spawania aluminium metodą TIG. Aktywność natężenia napromienienia wynosiło: $E_s = 7,79\text{--}37,6 \text{ W/m}^2$ dla oczu i $E_s = 12,46\text{--}60,8 \text{ W/m}^2$ dla skóry dłoni, natężenie napromienienia oczu bliskim nadfioletem – $E_{UVA} = 18\text{--}53,1 \text{ W/m}^2$, a skuteczne natężenie napromienienia siatkówki „światłem niebieskim” – $E_B = 35\text{--}67 \text{ W/m}^2$. W pozostałych przypadkach spawania tą metodą wartości aktywności natężenia napromienienia wynosiły: $E_s = 7,79\text{--}37,6 \text{ W/m}^2$ dla oczu i $2,49\text{--}35,7 \text{ W/m}^2$ dla skóry dłoni, natężenie napromienienia oczu promie-

Tabela 3. Wyniki pomiarów poziomu potencjalnej ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe i „światło niebieskie” na stanowiskach spawalniczych
Table 3. Measurement results of ultraviolet and “blue light” potential exposure levels at welding workstations

Nr stanowiska No of workstation	Ekspozowana część ciała Exposed part of the body	Odległość pomiaru Measurement distance [cm]	t_c [s]	Nadfiolet Ultraviolet				„Światło niebieskie” “Blue light”	
				E_v [W/m ²]	E_{UVA} [W/m ²]	H_v [J/m ²]	H_{UVA} [J/m ²]	E_b [W/m ²]	obliczone MDE calculated MPE
1	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	34 10–35	21 600	37,60 60,80	53,10	812 160 1 313 280	1 146 960	67,00	0,01
2	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	41 10–30	16 200	7,79 12,46	18,00	126 198 201 852	291 600	35,00	0,01
3	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	34 12–25	18 000	0,665 2,49	1,10	11 970 44 820	19 800	21,90	0,01
4	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	19 4	3 312	2,47 6,36	3,08	5 697 21 064	10 224	4,13	0,03
5	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	26 6	4 320	6,27 8,64	0,19	27 086 36 547	821	1,98	0,023
6	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	40 10	5 200	2,36 35,70	16,30	12 272 185 640	84 760	26,00	0,019
7	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	50 3–45	18 000	4,39 6,18	11,30	111 240 1 166 400	94 500	9,60	0,01
8	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	60 5–20	2 064	4,86 11,84	9,01	10 031 20 991	18 596	10,20	0,05
9	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	49 6–30	1 800	1,27 4,65	8,06	2 286 8 370	14 508	4,34	0,056
10	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	56 10–35	18 000	4,86 23,80	17,00	87 480 428 400	216 000	5,09	0,01
11	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	46 5–45	10 800	2,29 8,59	11,32	24 732 92 772	122 256	6,07	0,01
12	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	46 5–40	1 884	4,63 12,09	10,85	8 723 22 778	20 441	4,46	0,053
13	oczy / eyes skóra dłoni prawej / right hand skin	60 10–35	10 800	7,01 8,59	8,09	75 708 92 772	87 372	4,69	0,01
Normatywy higieniczne – MDE / Hygiene standard – MPE (16,18):									
dla $t_c \leq 10\,000\text{ s} - (100/t_c) \text{ W/m}^{2*}$ dla $t_c > 10\,000\text{ s} - E_b = 0,01 \text{ W/m}^{2*}$									

E_v – średnie aktywność natężenie napromieniowania / mean actinic irradiance; E_{UVA} – średnie natężenie napromieniowania UVA / mean UVA irradiance; H_v – średnie natężenie napromieniowania aktynicznego / actinic radiant exposure.

H_{UVA} – napromieniowanie promieniowaniem UVA / UVA radiant exposure; E_b – średnie skuteczne natężenie napromieniowania światłem niebieskim / mean effective irradiance on retina by “blue light”; MDE – maksymalna dopuszczalna ekspozycja w Polsce / MPE – maximum permissible exposure in Poland.

* MDE obliczono jak dla małych źródeł promieniowania, ponieważ we wszystkich badanych przypadkach kąt widzenia łuku był mniejszy od 11 mrad / MPEs for small sources were calculated because in all cases the angular subtense of arc was lower than 11 mrad.

Tabela 4. Wyniki „rzeczywistego” poziomu ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe i „światło niebieskie” przy założonym czasie ekspozycji oczu na łuk spawalniczy 30 s i 100 s na stanowiskach spawalniczych

Table 4. Measurement results of ultraviolet and “blue light” exposure levels on welding arc during assumed exposure time of 30 and 100 s at welding workstations

Nr stanowiska No of workstation	Nadfiolet Ultraviolet								„Światło niebieskie” “Blue light”		
	$t_c = 30$ s		krotność MDE multiple of MPE		$t_c = 100$ s		krotność MDE multiple of MPE		E_B [W/m ²]	krotność MDE* multiple of MDE*	
	H_s [J/m ²]	H_{UVA} [J/m ²]	$H_s/30$	$H_{UVA}/10\,000$	H_s [J/m ²]	H_{UVA} [J/m ²]	$H_s/30$	$H_{UVA}/10\,000$		$t_c = 30$ s	$t_c = 100$ s
1	1 128,00	1 593,00	37,6	0,16	3 760,0	5 310	125,3	0,53	67,00	20,3	67,00
2	233,70	540,00	7,8	0,05	779,0	1 800	25,9	0,18	35,00	10,6	35,00
3	19,95	33,00	0,7	0,00	66,5	110	2,2	0,01	21,90	6,6	21,90
4	74,10	92,40	2,5	0,01	247,0	308	8,2	0,03	4,13	1,3	4,13
5	188,10	5,70	6,3	0,00	627,0	19	20,9	0,00	1,98	0,6	1,98
6	70,80	489,00	2,4	0,05	236,0	1 630	7,9	0,16	26,00	7,9	26,00
7	131,70	339,00	4,4	0,03	439,0	1 130	14,6	0,11	9,60	2,9	9,60
8	145,80	270,30	4,9	0,03	486,0	901	16,2	0,09	10,20	3,1	10,20
9	38,10	241,80	1,3	0,02	127,0	806	4,2	0,08	4,34	1,3	4,34
10	145,80	510,00	4,9	0,05	486,0	1 700	16,2	0,17	5,09	1,5	5,09
11	68,70	339,60	2,3	0,03	229,0	1 132	7,6	0,11	6,07	1,8	6,07
12	138,90	325,50	4,6	0,03	463,0	1 085	15,4	0,11	4,46	1,4	4,46
13	210,30	242,70	7,0	0,02	701,0	809	23,4	0,08	4,69	1,4	4,69

* Normatyw higieniczny MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki w czasie ekspozycji $t_c = 30$ s wynosi 3,3 W/m², a dla $t_c = 100$ s wynosi 1 W/m² (17,19) / MPE hygiene standard for photochemical retinal hazard during $t_c = 30$ s is 3.3 W/m² and during $t_c = 100$ s is 1 W/m² (17,19).

Objaśnienia jak w tabeli 3 / Abbreviations as in Table 3.

niowaniem UVA – $E_{UVA} = 0,19$ – $16,3$ W/m², a skuteczne natężenie napromienienia siatkówki „światłem niebieskim” – $E_B = 1,98$ – 26 W/m².

W przypadku spawania metodą MMA aktywniczone natężenie napromienienia oczu było największe ($E_s = 7,01$ W/m²) podczas spawania stali niskowęglowej elektrodą rutyłowo-kwaśną przy prądzie spawania 120 A. W pozostałych przypadkach mierzone wartości tego parametru wynosiły 1,27–4,86 W/m². Wartości aktywniczego natężenia napromienienia dłoni były większe i zawierały się odpowiednio w zakresie 4,65–23,8 W/m². W przypadku promieniowania UVA zmienność mierzonego natężenia napromienienia E_{UVA} wynosiła 8,06–17 W/m². Z kolei skuteczne natężenie napromienienia siatkówki „światłem niebieskim” wynosiło $E_B = 4,34$ – $10,2$ W/m².

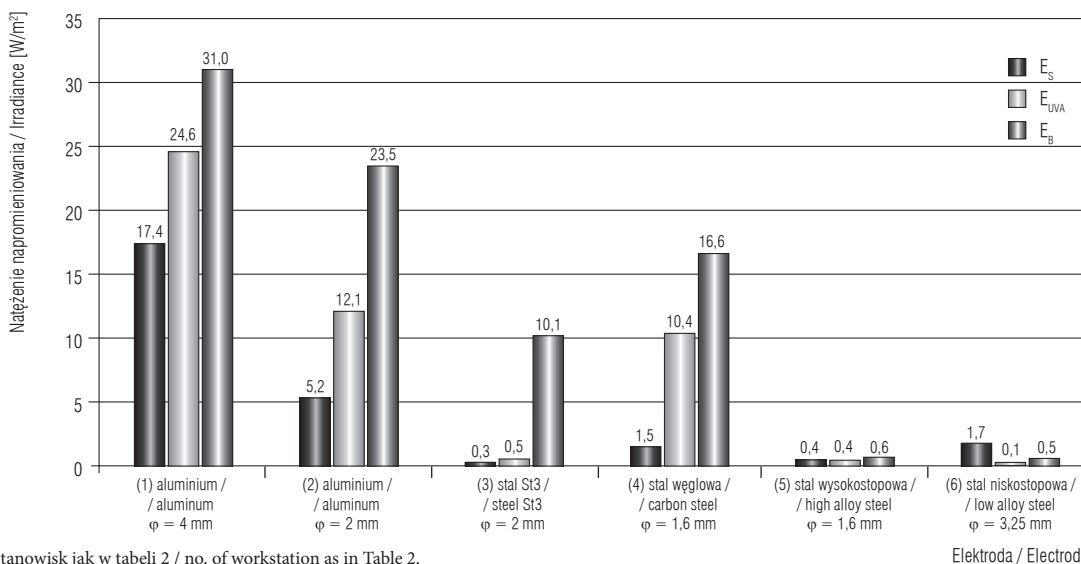
Porównując wyznaczone z pomiarów potencjalne poziomy ekspozycji z wartościami MDE (tab. 3), stwierdzono, że na wszystkich badanych stanowiskach

pracy znacznie – od kilku do kilkudziesięciu tysięcy razy – przekroczone były normatywy higieniczne dla zagrożenia fotochemicznego oczu i skóry. Przyjmując założone rzeczywiste czasy ekspozycji oczu spawaczy na łuk spawalniczy (tab. 4), można zauważyć, że przekroczenia wartości MDE dla zagrożenia rogówki i spojówki oczu lub siatkówki oczu występują na wszystkich stanowiskach już przy czasie całkowitej ekspozycji wynoszącym 30 s. Tylko w dwóch przypadkach krotność MDE wynosiła poniżej 1 – dla zagrożenia rogówki i spojówki (stanowisko nr 3) i zagrożenia siatkówki (stanowisko nr 5). Dla czasu całkowitej ekspozycji wynoszącego zarówno 30 s, jak i 100 s na żadnym stanowisku nie stwierdzono przekroczenia MDE dla zagrożenia soczewki oka.

Ponieważ podane w tabeli 3. wartości natężenia napromienienia oczu mierzone były na stanowiskach pracy przy różnych odległościach, tak jak to miało miejsce na badanych stanowiskach pracy, nie można ich bezpo-

średnio porównywać i wyciągać wniosków odnośnie do wpływu parametrów spawania na otrzymane wyniki. Zgodnie z fotometrycznym prawem odległości natężenie napromienienia maleje z kwadratem odległości przy oddalaniu się od źródła (przy założeniu, że źródło jest punktowe). Łuk spawalniczy można traktować jako

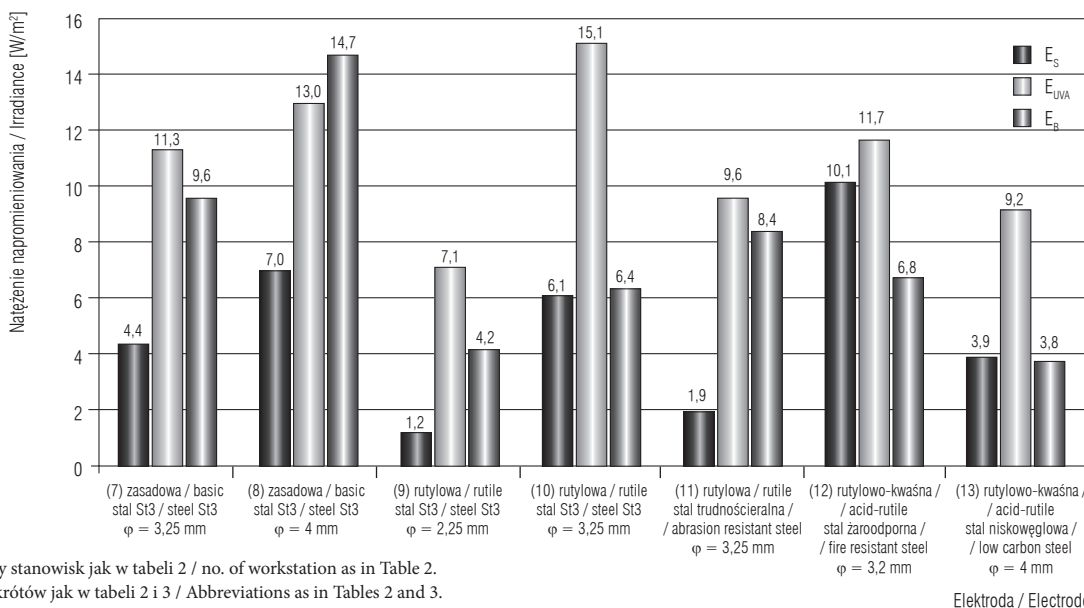
źródło punktowe, więc stosując ww. prawo przeliczono wartości natężenia napromienienia oczu tak, aby odpowiadały jednej odległości od źródła, którą przyjęto jako 50 cm. Wyniki przeliczonych wartości natężenia napromienienia oczu – E_s , E_{UVA} i E_B – odpowiednio dla metody TIG i MMA przedstawiono na rycinach 1. i 2.



1–6 – numery stanowisk jak w tabeli 2 / no. of workstation as in Table 2.
 Objaśnienia skrótów jak w tabeli 2 i 3 / Abbreviations as in Tables 2 and 3.
 ϕ – średnica elektrody / electrode diameter.

Ryc. 1. Wyznaczone natężenia napromienienia oczu przy odległości 50 cm od łuku dla stanowisk spawania metodą TIG różnych materiałów elektrodami o różnych średnicach

Fig. 1. Calculated values of eye irradiance at 50 cm distance from arc at TIG welding workstation for different welded materials and electrode diameters



7–13 – numery stanowisk jak w tabeli 2 / no. of workstation as in Table 2.
 Objaśnienia skrótów jak w tabeli 2 i 3 / Abbreviations as in Tables 2 and 3.
 ϕ – średnica elektrody / electrode diameter.

Ryc. 2. Wyznaczone natężenia napromienienia oczu przy odległości 50 cm od łuku dla stanowisk spawania metodą MMA różnych materiałów elektrodami o różnych otulinach i średnicach

Fig. 2. Calculated values of eye irradiance at 50 cm distance from arc on MMA welding workstations for different welded materials and different electrode coating and diameter

Na rycinie 1. widać, że przy metodzie TIG w większości przypadków, bez względu na stosowany materiał czy pozostałe parametry spawania, największe wartości natężenia napromienienia występowały dla „światła niebieskiego” ($E_B = 10,1\text{--}31 \text{ W/m}^2$), następnie dla promieniowania UVA ($E_{UVA} = 10,4\text{--}24 \text{ W/m}^2$) i na trzecim miejscu – nadfioletu aktywnego ($E_s = 0,3\text{--}17,4 \text{ W/m}^2$). Wyjątkiem było spawanie stali niestopowej (stanowisko nr 6, tab. 1), gdzie największe wartości występowały dla nadfioletu aktywnego. Podobnie jak w metodzie TIG w większości przypadków przy spawaniu MMA najmniejsze wartości występowały dla nadfioletu aktywnego (oprócz stanowiska nr 12, tab. 1) i zawierały się w zakresie $E_s = 1,2\text{--}10,1 \text{ W/m}^2$.

Z kolei na rycinie 2. nie można zaobserwować dla natężenia napromienienia promieniowaniem UVA (E_{UVA}) i „światłem niebieskim” (E_B) podobnej tendencji zmian jak przy metodzie TIG. W zależności od parametrów spawania czasami największe wartości były dla E_{UVA} , a czasami dla E_B . Zakres mierzonych wartości tych parametrów wynosił odpowiednio: dla $E_{UVA} = 7,1\text{--}15,1 \text{ W/m}^2$, a dla $E_B = 3,8\text{--}14,7 \text{ W/m}^2$. W przypadku metody MMA nie widać tak dużej różnicy między mierzonymi parametrami promieniowania w zależno-

ści od parametrów spawania jak ma to miejsce w metodzie TIG.

Biorąc pod uwagę duże przekroczenia wartości MDE występujące na badanych stanowiskach, celowe jest wyznaczenie dozwolonego czasu ekspozycji, który odzwierciedla, jak długo w ciągu zmiany roboczej narażona tkanka może być maksymalnie ekspozycja na promieniowanie optyczne bez stosowania środków ochrony. Zgodnie z PN-T-06589 (25) wyznaczono dozwolone czasy ekspozycji na promieniowanie łuku spawalniczego na poszczególnych badanych stanowiskach spawalniczych, uwzględniając wszystkie omawiane rodzaje zagrożeń. Obliczenia wykonano dla wyników poziomów promieniowania przy założonej odległości oczu od łuku równej 50 cm (przedstawionych na ryc. 1. i 2.) i zestawiono w tabeli 5.

Najkrótszy czas dozwolonej ekspozycji występował dla zagrożenia rogówki i spojówki oczu promieniowaniem UV (2–100 s) oraz siatkówki oka światłem niebieskim (3–200 s). Z kolei dla zagrożenia soczewki oka promieniowaniem UVA czas ten był dużo dłuższy i wynosił 407–100 000 s. Żeby nie dopuścić do wystąpienia skutków szkodliwych dla oczu ze względu na wszystkie omawiane zagrożenia fotochemiczne, ekspozycja

Tabela 5. Dozwolone czasy ekspozycji oczu dla poszczególnych zagrożeń fotochemicznych przy założonej odległości oczu od łuku 50 cm
Table 5. Permissible exposure time for eyes for particular photochemical hazards at 50 cm distance from the arc

Nr stanowiska No of workstation	Dozwolony czas ekspozycji oczu Permissible exposure time for eyes [s]		
	zagrożenie aktywność rogówki i spojówki actinic hazard to cornea and conjunctiva	zagrożenie soczewki promieniowaniem UVA UVA hazard to lens	zagrożenie siatkówki „światłem niebieskim” retinal "blue light" hazard
1	1,7	406,5	3,2
2	5,7	826,4	4,3
3	100,0	20 000,0	9,9
4	20,0	961,5	6,0
5	75,0	25 000,0	166,7
5	17,6	100 000,0	200,0
7	6,8	885,0	10,4
8	4,3	771,6	6,8
9	24,6	1 407,1	24,0
10	4,9	664,3	15,7
11	15,5	1 043,7	11,9
12	3,0	857,3	14,8
13	7,7	1 088,9	26,5

dzienna na promieniowanie łuku spawalniczego nie może przekraczać najkrótszego wyznaczonego czasu spośród wszystkich trzech zagrożeń. Przykładowo na stanowisku nr 1 dozwolony czas ekspozycji nie powinien przekraczać 1,7 s, a na stanowisku nr 11 nie powinien być dłuższy niż 11,9 s.

OMÓWIENIE

Doniesienia literaturowe dotyczące narażenia zawodowego spawaczy na promieniowanie optyczne dotyczą różnych technik spawania łukowego i materiałów spawanych, które wykonywano zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i na stanowiskach pracy. Publikowane wyniki badań ekspozycji zawodowej na stanowiskach pracy dotyczą zwykle wybranych metod spawania łukowego materiałów, które są na nich najczęściej spawane (6,7,13,14) i wszystkie wykazały przekroczenie wartości granicznych ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe i „światło niebieskie” ustanowionych przez dyrektywę 2006/25/WE (16). Wykazano, że narażenie na promieniowanie optyczne związane jest z rodzajem spawanego materiału (6,13) i metodą spawania (6,7). Z kolei badania laboratoryjne wykonywane w warunkach ustalonej geometrii pomiaru i stałych w czasie parametrach spawania automatem spawalniczym wykonuje się w celu określenia wpływu parametrów spawania na emitowane promieniowanie.

Przykładowo badania prowadzone w Polsce wykazały wpływ natężenia prądu i długości łuku spawania metodą TIG na rozkład widmowy promieniowania łuku (27,28). Inne badania laboratoryjne dotyczące nowych metod spawania, takich jak CMT (cold metal transfer) i ColdArc wykazały, że aktywność natężenia napromienienia wzrasta wykładniczo wraz ze wzrostem natężenia prądu spawania, a jednocześnie nie wykazały wpływu spawanego materiału na mierzone wartości UV (29).

Można zauważyć, że wnioski wynikające z badań na stanowiskach pracy i badań laboratoryjnych zgodnie potwierdzają wysokie poziomy promieniowania optycznego emitowanego przez łuk elektryczny oraz że uzyskane wyniki się uzupełniają. Wyniki laboratoryjne pozwalają na prowadzenie dokładnej analizy procesu spawania i emisji łuku, ale nie dają pełnego obrazu rzeczywistego narażenia spawaczy podczas spawania ręcznego lub półautomatycznego, kiedy parametry spawania są zmienne w czasie (zwłaszcza długość łuku), a położenie eksponowanych części ciała od łuku ulega zmianie w trakcie procesu spawania. Z kolei badania stanowiskowe odzwierciedlają też inne czynniki wystę-

pujące na stanowiskach pracy, które wpływają na poziom promieniowania dochodzącego do pracownika, np. odbicia promieniowania na stanowisku pracy czy pochłanianie promieniowania przez dymy/pyły spawalnicze, których stężenie w powietrzu zależy również od tego, czy zainstalowany jest wyciąg miejscowy lub jaka jest jego sprawność.

Wyniki badań omówionych w niniejszej pracy potwierdzają publikowane przez innych autorów, ponieważ wyznaczone poziomy ekspozycji (potencjalny bez stosowania ochrony indywidualnych i „rzeczywisty” przy założonych czasach ekspozycji oczu na łuk spawalniczy) na promieniowanie nadfioletowe i „światło niebieskie” znacznie przekraczały ustalone normatywy higieniczne na wszystkich badanych stanowiskach spawania łukowego – bez względu na metodę spawania czy parametry spawania i rodzaj materiału spawanego.

Zgodnie z doniesieniami innych autorów (7,13,14) podczas spawania aluminium obserwuje się najbardziej jaskrawy łuk emitujący (oprócz intensywnego promieniowania nadfioletowego znaczną ilość promieniowania niebieskiego). Zmierzone wartości średnie skutecznego natężenia napromienienia w odległości 1 m od łuku (spawanie metodą TIG, prąd spawania: 250–280 A, średnica elektrody: 1,6 mm) dla aktywności UV wynosiły 11 W/m², a dla „światła niebieskiego” – 18,4 W/m² (13).

Przedstawione wyniki badań własnych promieniowania emitowanego podczas spawania aluminium metodą TIG potwierdzają, że najwyższe poziomy ekspozycji występowały przy spawaniu tego materiału, a zmierzone wartości poziomów promieniowania były wyższe, co wynikało zarówno z bliższej odległości spawania, większej średnicy elektrody (4 mm), jak i stosowania dodatkowo aluminium jako spoiwa. Roztopione w procesie spawania aluminium (jeziorko spawalnicze) zachowuje się jak „lustro” i odbija w sposób zwierciadlany padające na nie promieniowanie. W ten sposób do oczu spawacza dociera zarówno promieniowanie bezpośrednie łuku, jak i odbite od aluminium.

Ponadto wykazano, że podczas spawania aluminium przy tym samym natężeniu prądu na wyniki poziomu promieniowania wpływa również średnica drutu aluminiowego stanowiącego spoiwo – im jest większa, tym większe są poziomy promieniowania. Przy 2-krotnie większej średnicy drutu aluminiowego występowały większe poziomy ekspozycji oczu: na aktywność UV (ok. 3-krotnie), na UVA (ok. 2-krotnie) i na „światło niebieskie” (ok. 1,5-krotnie). Wynikało to przede wszystkim z większej długości łuku (ok. 4–5 mm, co jest zgodne z zasadą, że podczas spawania należy zachowy-

wać stałą długość łuku w granicach średnicy elektrody) i większej powierzchni „lustra” jeziora spawalniczego odbijającego promieniowanie, jakie występowało przy stosowaniu pręta spoiwa o większej średnicy.

W przypadku spawania metodą TIG innych materiałów niż aluminium zdecydowanie największe wartości natężenia napromienienia występowały dla „światła niebieskiego”, co oznacza, że w widmie promieniowania łuku występują znaczne gęstości mocy przy długościach fal z zakresu 400–500 nm. Potwierdzają to badania promieniowania widzialnego łuku spawalniczego metody TIG na zautomatyzowanym stanowisku spawalniczym (27), gdzie przedstawiono rozkłady widma promieniowania łuku i wykazano wpływ długości łuku natężenia prądu spawania na wielkość emitowanego promieniowania.

Interesująca jest znaczna różnica w poziomach promieniowania (od ok. 4-krotnie dla UV aktywnego (E_s) do ok. 26-krotnie dla UVA (E_{UVA}) i „światła niebieskiego” (E_b), przy spawaniu TIG elektrodą o średnicy 1,6 mm dwóch materiałów – stali węglowej i stali wysokostopowej (stanowiska nr 4 i 5). Wydaje się, że mała różnica natężenia prądu spawania obu materiałów (10 A) nie powinna wpłynąć na tak duże różnice poziomów promieniowania i że może mieć tu wpływ również rodzaj materiału spawanego i wiążące się z tym odbicie promieniowania i występowanie dymów spawalniczych, w których część promieniowania może być absorbowana.

Wpływ zastosowanej metody spawania na poziomy promieniowania łuku widoczny jest również na przykładzie spawania stali St3 metodą TIG i MMA, odpowiednio przy średnicach elektrod: wolframowej – 2 mm i rutyłowej – 2,25 mm, oraz prądach spawania – 83 A i 80 A (stanowiska nr 3 i 9). W przypadku spawania MMA (stanowisko nr 9) wartości poziomu promieniowania UV aktywnego (E_s) i promieniowania UVA (E_{UVA}) są znacznie większe niż w metodzie TIG (stanowisko nr 3), natomiast poziom promieniowania z zakresu „światła niebieskiego” (E_b) jest większy w metodzie TIG niż w MMA. Można więc wnioskować, że w rozpatrywanym przypadku w widmie promieniowania docierającego do spawacza występuje większa gęstość mocy dla promieniowania UV przy metodzie MMA niż przy metodzie TIG, natomiast mniejsza gęstość mocy z zakresu promieniowania widzialnego.

Wyniki badań dla metody MMA przy zastosowaniu elektrod topliwych o różnych rodzajach otulin nie pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie wpływu rodzaju otuliny na otrzymane wyniki – ze względu na różniące się pozono-

stałe parametry spawania i materiały spawane. Widoczna jest jednak pewna tendencja zmian. Można stwierdzić, że wraz ze wzrostem średnicy elektrody i natężenia prądu spawania przy otulinie zasadowej (stanowiska nr 7 i 8) i rutyłowej (stanowiska nr 9 i 10) wzrosły wszystkie mierzone poziomy promieniowania. Z kolei przy tej samej średnicy elektrody rutyłowej (3,25 mm) i różnicy w natężeniu prądu spawania o 10 A, lecz różnych materiałach spawanych, można zauważyć znaczne różnice w poziomach promieniowania (stanowiska nr 10 i 11).

Mimo większego prądu spawania stali trudności-eralnej niż stali St3 mniejszy był poziom promieniowania aktywnego UV (ok. 3-krotnie) i UVA (ok. 1,5-krotnie). Jedynie minimalnie wzrósł poziom promieniowania z zakresu „światła niebieskiego” (ok. 1,3-krotnie). Może to świadczyć również o wpływie rodzaju materiału spawanego na poziom promieniowania. Spośród badanych stanowisk spawania metodą MMA największy poziom promieniowania aktywnego UV ($E_s = 10,1 \text{ W/m}^2$) występował przy spawaniu stali żaroodpornej elektrodą rutyłowo-kwaśną (stanowisko nr 12) i był większy ponad 2-krotnie niż przy spawaniu stali niskowęglowej elektrodą o tej samej otulinie, lecz o większej średnicy (stanowisko nr 13) oraz elektrodą zasadową stali St3 (stanowisko nr 7).

Otrzymane wyniki badań zagrożenia na stanowiskach spawania potwierdzają doniesienia literaturowe (6,7,13,14,29), mówiące o znacznych przekroczeniach wartości MDE przy spawaniu łukowym.

W niniejszym artykule po raz pierwszy przedstawiono wyniki badań poziomu promieniowania, poziomu ekspozycji i oceny zagrożenia fotochemicznego oczu i skóry spawaczy podczas spawania łukowego metodą TIG i MMA na stanowiskach pracy w przemyśle. Ocenę tę przedstawiono zarówno dla potencjalnych poziomów ekspozycji, zgodnie z przepisami (17), jak i dla „rzeczywistych” poziomów ekspozycji, uwzględniających stosowanie środków ochrony oczu i twarzy.

WNIOSKI

Badania poziomu promieniowania optycznego podczas spawania metodą TIG i MMA na stanowiskach pracy w przemyśle wykazały, że potencjalne poziomy ekspozycji na promieniowanie nadfioletowe i „światła niebieskie” znacznie przekraczały wartości MDE. Tym samym, zgodnie z obowiązującymi przepisami (17), stwierdzono występowanie dużego ryzyka zawodowego związanego z tym czynnikiem. Zastosowane ochrony oczu i skóry charakteryzowały się odpowiednimi

współczynnikami tłumienia i w związku z tym, w przypadku prawidłowego stosowania tych ochron, można stwierdzić, że ryzyko zostało ograniczone do małego.

Podczas badań stwierdzono nieprawidłowe zachowania spawaczy polegające na rozpoczynaniu spawania bez osłoniętych oczu i twarzy. Z tego powodu wyznaczono „rzeczywiste” poziomy ekspozycji, tzn. dla założonego sumarycznego w ciągu zmiany roboczej czasu, w którym oczy spawacza mogą być ekspozowane na łuk spawalniczy. Wyniki oceny zagrożenia oczu spawacza spowodowane ekspozycją na łuk spawalniczy tylko podczas rozpoczynania spawu wskazują, że występują przekroczenia wartości MDE i ryzyko zawodowe jest duże. Ograniczenie tego ryzyka do małego może być realizowane wyłącznie poprzez prawidłowe stosowanie przez spawaczy środków ochrony indywidualnej właściwie dobranych do parametrów spawania.

Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że poziom narażenia spawaczy na promieniowanie optyczne w metodach TIG i MMA zależy od:

- materiału spawanego – najwyższe poziomy promieniowania występowały przy spawaniu aluminium metodą TIG (ze względu na wysokie poziomy promieniowania łuku oraz odbicia zwierciadlane promieniowania), najmniejsze poziomy występowały przy spawaniu stali wysokostopowej i niestopowej metodą TIG przy prądach spawania z przedziału 50–98 A i średnicy elektrody 1,6 mm;
- rodzaju otuliny przy spawaniu MMA – skład chemiczny otuliny wpływa na widmo promieniowania, a tym samym na poziom promieniowanie docierającego do spawacza; najwyższe poziomy UVA i „światła niebieskiego” stwierdzono dla otuliny zasadowej, a następnie rutyłowej podczas spawania stali St3;
- materiału i średnicy pręta/drutu wprowadzanego jako materiał spoiny przy spawaniu metodą TIG – spoiny wykonane z materiału, który po roztopieniu stanowi „lustro” dla promieniowania (np. aluminium), znacznie odbijają padające na nie promieniowanie, a im większa średnica wprowadzanego materiału spoiny, tym większa powierzchnia odbijająca spoiny i więcej promieniowania odbitego.

Wyznaczony dozwolony czas ekspozycji oczu, przy uwzględnieniu wszystkich 3 rozpatrywanych zagrożeń fotobiologicznych oczu – aktywnym UV, promieniowaniem UVA i „światłem niebieskim” – wynosił na badanych stanowiskach spawaczy 1,7–75 s. Można go traktować również jako wyznacznik tego, jak długo w ciągu zmiany spawacz może patrzeć nieosłoniętym okiem na łuk spawalniczy przy stosowanych poszcze-

gólnych technikach i parametrach spawania. W niektórych przypadkach nawet niezmiernie krótkotrwała ekspozycja oczu na łuk spawalniczy (np. 1-krotne rozpoczęcie spawu bez osłony oczu) powoduje przekroczenie MDE. Z tego względu bardzo istotne jest przestrzeganie przez spawaczy zasad prawidłowego stosowania środków ochrony oczu, a szczególnie stosowanie się do zakazu rozpoczynania spawania przy odsłoniętej przyłbicy. Nawyk ten jest niestety bardzo częsty na stanowiskach pracy, dlatego w przypadku np. spawania aluminium najlepiej wyposażyć pracownika w automatyczną przyłbicę spawalniczą.

Zdarza się również, że pracownicy mają odsłoniętą skórę przedramion lub nie nakładają rękawic (przy małych prądach spawania i małej średnicy elektrody). Równie często nie osłaniają skóry głowy i szyi, do której również dociera promieniowanie odbite od otoczenia, które może stanowić co najmniej 0,2% poziomu docierającego do oczu. Prawdopodobne przekroczenie wartości MDE dla tych części ciała wyjaśnia, dlaczego odnotowane wśród spawaczy przypadki zachorowania na raka skóry (czerniaka) dotyczyły ucha lub szyi. Można przypuszczać, że nieprawidłowe stosowanie środków ochrony indywidualnej jest jedną z głównych przyczyn występowania wśród spawaczy chorób zawodowych powodowanych przez promieniowanie UV i „światło niebieskie”. Potwierdza to stanowisko IARC (20), w którym wskazano na silny związek między występowaniem czerniaka oka u spawaczy a promieniowaniem UV emitowanym podczas spawania.

PIŚMIENNICTWO

1. Stanisławska M., Janasik B., Trzcinka-Ochocka M.: Ocena narażenia zawodowego spawaczy na podstawie oznaczania dymów i ich składników powstających podczas spawania stali chromowo-niklowej. *Med. Pr.* 2011;62(4):359–368
2. Braun T.: Preventing Eye injuries when welding [cytowany 21 października 2012]. *Occup. Health Saf.* 2007;80(2). Adres: <http://ohsonline.com/Articles/2007/02/Preventing-Eye-Injuries-When-Welding.aspx>
3. Goff T.: Flexible welding protection. *Occup. Health Saf.* 2006;75(9):32–34
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation (ICNIRP): Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys.* 2004;87(2):171–186
5. Konieczny P., Wolska A., Świdorski J., Zajac A.: Simulation of reflected and scattered laser radiation for designing laser shields. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2008;14(2):133–147

6. O'Hagan J.B., Driscoll C.M.H., Pearson A.J.: Occupational Exposure to optical radiation in the context of a possible EU proposal for Directive on optical radiation. National Radiological Protection Board, Chilton 2003
7. Hietanen M., von Nandelstadh P.: Measurements of optical radiation emitted by welding arc. W: Matthes R., Sliney D. [red.]. Measurements of optical radiation hazards. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Munich 1998, ss. 553–557
8. Özdemir O., Numanoglu N., Gönüllü U., Savaş I., Alper D., Gürses H.: Chronic effects of welding exposure on pulmonary function tests and respiratory symptoms. *Occup. Environ. Med.* 1995;52:800–803
9. Matczak W., Gromiec J.: Evaluation of occupational exposure to toxic metals released in the process of aluminium welding. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 2002;17(4):233–249
10. Gryz K., Karpowicz J.: Pomiar pól elektromagnetycznych i ocena ekspozycji zawodowej – wymagania PN-T-06580:2002 i zasady stosowane w krajach Unii Europejskiej. *Med. Pr.* 2003;54(3):279–284
11. Karpowicz J., Gryz K.: Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (2) – Wybrane źródła pól i charakterystyka odzieży ochronnej. *Bezpiecz. Pr.* 2009;2:2–5
12. Węgrzyn T., Ślifirska J.: Monitoring stanowiska spawacza – cz. II. *Promotor BHP* 2011;7–8:16–19
13. Peng C., Lan T, Juang Y., Tsao T., Dai Y., Liu H. i wsp.: Exposure assessment of aluminum arc welding radiation. *Health Phys.* 2007;93(4):298–306. DOI: 10.1097/01.HP.0000267862.44497.a4
14. Okuno T., Ojima J., Saito H.: Blue-light hazard from CO₂ arc welding of mild steel. *Ann. Occup. Hyg.* 2010;54(3): 293–298
15. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 21 października 1991 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* z 1991 r. nr 114, poz. 495
16. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 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 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). *DzUrz UE* z 2006 r. L 114
17. 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. *DzU* z 2010 r. nr 100, poz. 643; *DzU* z 2012 r. nr 131, poz. 787
18. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* z 2002 r. nr 217, poz. 1833; *DzU* z 2007 r. nr 161, poz. 1142; *DzU* z 2009 r. nr 105, poz. 873; *DzU* z 2010 r. nr 141, poz. 950; *DzU* z 2011 r. nr 274, poz. 1621
19. Megbele Y., Lam K.B.H., Sadhra S.: Risks of cataract in Nigerian metal arc welders. *Occup. Med.* 2012;62(5):331–336
20. International Agency on Research of Cancer: Monographs on the evaluation Carcinogenic risks to Humans. Vol 100D. A review of Human Carcinogens. Radiation. IARC, Lyon 2012
21. Magnavita N.: Photoretinitis: an underestimated occupational injury? *Occup. Med.* 2002;52(4):223–225
22. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych. *DzU* z 2009 r. nr 105, poz. 869
23. 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. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
24. PN-EN 14255-2:2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
25. PN-T-06589:2002. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
26. PN-T-05687:2002. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
27. Węglowski M.S., Kępińska M., Mikno Z.: Promieniowanie widzialne łuku spawalniczego metody TIG. *Arch. Odlewn.* 2006;6(21):243–248
28. Węglowski M.S., Mikno Z., Welcel M., Kępińska M.: Kontrola procesu spawania TIG w oparciu o promieniowanie łuku spawalniczego. *Przegl. Spawaln.* 2007;12:15–19
29. Marzec S., Matusiak J., Nowicka J., Wyciślik J.: Promieniowanie nadfioletowe podczas spawania i lutowania łukowymi metodami niskoenergetycznymi. *Pr. Inst. Elektrotech.* 2012;256:47–56