

Agnieszka WOLSKA  
Piotr KONIECZNY

## PROMIENIOWANIE LASEROWE – SKUTKI ZDROWOTNE I ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA

**STRESZCZENIE** *W artykule przedstawiono główne zagrożenia oraz skutki zdrowotne związane z ekspozycją człowieka na promieniowanie laserowe pochodzące od urządzeń laserowych stosowanych w przemyśle. Ponadto omówiono wybrane aspekty bezpieczeństwa pracy z laserami a w szczególności klasy laserów i kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem laserowym. Na przykładzie spawania laserowego przeanalizowano występujące t tym procesie zagrożenia promieniowaniem optycznym, tak laserowym jak i nielaserowym. Jako przykład możliwości projektowania odpowiednich środków ochrony przedstawiono autorski program komputerowy „Laser Shield Solver” umożliwiający obliczanie parametrów osłon laserowych chroniących obsługę przed przypadkową ekspozycją oczu odbitym lub rozproszonym promieniowaniem laserowym.*

**Słowa kluczowe:** *szkodliwe skutki ekspozycji na promieniowanie laserowe, analiza zagrożeń promieniowaniem laserowym, kryteria ceny zagrożenia promieniowaniem laserowym, klasy laserów, obliczanie osłon przed promieniowaniem laserowym odbitym lub rozproszonym*

---

**dr inż. Agnieszka WOLSKA**  
e-mail: agwol@ciop.pl

Zakład Techniki Bezpieczeństwa  
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

**mgr inż. Piotr KONIECZNY**  
e-mail: piomad@wp.pl

Instytut Optoelektroniki  
Wojskowa Akademia Techniczna  
00-908 Warszawa, ul. Kaliskiego 2

## 1. WSTĘP

---

Szerokie stosowanie urządzeń laserowych w różnych procesach technologicznych w przemyśle oraz w medycynie, kosmetyce czy nauce wiąże się również z odpowiednim zapewnieniem bezpieczeństwa ludziom podczas ich użytkowania. Jakkolwiek urządzenia laserowe zazwyczaj posiadają specjalne osłony oraz wyposażone są w instrukcję bezpiecznego ich użytkowania, to zdarzają się przy ich obsłudze wypadki przy pracy. Największa liczba wypadków przy pracy związanych z urządzeniami laserowymi wynika z niewłaściwego ustawienia urządzenia (28 %) oraz wysokiego napięcia zasilającego (16 %). Jednak występuje też wiele wypadków związanych z promieniowaniem laserowym, z których około 8 % pochodzi od przypadkowego napromienienia, 16% na skutek awarii bądź niewłaściwego doboru okularów ochronnych, 8 % na skutek braku ubrania ochronnego (okularów ochronnych) i 12 % z niewłaściwie skupionej wiązki promieniowania.

Zagrożenie promieniowaniem laserowym na stanowiskach pracy wiąże się przede wszystkim z możliwością ekspozycji pracownika, a zwłaszcza jego oczu na to promieniowanie. Zagrożenie to może pochodzić zarówno od wiązki laserowej bezpośrednio wychodzącej z lasera (różny stopień zagrożenia w zależności od klasy lasera) jak i od promieniowania odbitego od powierzchni, na którą pada to promieniowanie.

## 2. ZAGROŻENIA POWODOWANE PRZEZ PROMIENIOWANIE LASEROWE

---

Szkodliwe działanie promieniowania optycznego dotyczy oczu i skóry. Promieniowanie to może powodować uszkodzenie tkanki na skutek reakcji fotochemicznych lub termicznych. W przypadku promieniowania laserowego są to przeważnie reakcje termiczne zachodzące na skutek absorpcji dużej ilości energii. Podczas niektórych procesów technologicznych z wykorzystaniem laserów takich jak cięcie i spawanie laserowe występuje również nielaserowe promieniowanie optyczne z zakresu nadfioletu i promieniowania widzialnego, które może powodować fotochemiczne uszkodzenia oczu i skóry

### 2.1. Zagrożenie oczu

---

Najbardziej zagrożone promieniowaniem laserowym są oczy. W zależności od długości fali promieniowania optycznego zagrożone są różne elementy

składowe oka. Nadfiolet daleki (UV-C) z zakresu 200-215 nm i podczerwień o długościach fal powyżej 1400 nm (IR-B i IR-C) są pochłaniane przez rogówkę. Bliski nadfiolet (UV-A) oraz częściowo podczerwień IR-A i IR-B pochłaniane są przez soczewkę. Natomiast promieniowanie widzialne oraz bliska podczerwień (IR-A) jest przepuszczane do siatkówki. Tak, więc najbardziej zagrożonymi na uszkodzenie promieniowaniem optycznym są takie elementy oka jak rogówka, soczewka i siatkówka. Szkodliwe skutki oddziaływania na oko promieniowania optycznego przedstawiono w tab. 1. Wszystkie z wymienionych w tabeli rodzajów uszkodzeń oka promieniowaniem laserowym mogą być trwałe i poważne. Specjalną uwagę zwraca się na uszkodzenie siatkówki promieniowaniem z zakresu 400 – 1400 nm, które może być szczególnie szkodliwe [1, 6]. Wiąże się to z faktem, że wiązka laserowa o średnicy kilku milimetrów może być skupiona na siatkówce oka do małej plamki o średnicy 10  $\mu\text{m}$ , co oznacza, że natężenie napromienienia wiązki wchodzącej do oka o wartości 1  $\text{mW}/\text{cm}^2$  jest efektywnie zwiększone do wartości 100  $\text{W}/\text{cm}^2$  na siatkówce oka [8]. W rezultacie docierające do siatkówki promieniowanie jest wystarczająco duże, aby spowodować uszkodzenie siatkówki. W zależności od miejsca na siatkówce, gdzie skupiane jest promieniowanie laserowe, stopień uszkodzenia jest różny. Uszkodzenie w obrębie dołka środkowego może spowodować w rezultacie trwałą ślepotę, natomiast w części peryferyjnej siatkówki jest mniej poważne a nawet czasami może nawet być niezauważalne przez osobę, u której nastąpiło to uszkodzenie.

**TABELA 1**

Rodzaj uszkodzenia oka a długość fali promieniowania

Zakres długości fal	Rodzaj uszkodzenia oka
UV-A	Zaćma fotochemiczna (pojawia się po wielu latach chronicznej ekspozycji)
UV-B i UV-C	Uszkodzenia rogówki
VIS i IR-A	Fotochemiczne i termiczne uszkodzenie siatkówki
IR-B i IR-C	Poparzenia i uszkodzenia rogówki, zaćma termiczna (pojawia się po wielu latach chronicznej ekspozycji)

## 2.2. Zagrożenie skóry

Skóra jest największym organem ciała człowieka a ryzyko jej uszkodzenia przez wiązkę laserową jest bardzo duże. Najbardziej zagrożona jest skóra rąk, głowy i ramion [7]. Szkodliwe skutki ekspozycji tkanki skóry na promieniowanie laserowe zależą od gęstości powierzchniowej wiązki padającej,

absorpcji przez tkanki długości fali promieniowania padającego, czasu trwania ekspozycji i skutków krążenia krwi i odprowadzania ciepła przez obszar, który był ekspozycyjny. Krótkoterminowe skutki ekspozycji na promieniowanie laserowe powyżej ustalonych wartości granicznych to: zaczerwienienie (erytema) i poparzenia skóry. Zwykle są to uszkodzenia termiczne na skutek wzrostu temperatury w tkance skóry lub fotochemiczne na skutek ekspozycji na wysoki poziom promieniowania UV. Szkodliwe skutki długoterminowe to takie, które występują na skutek powtarzanych lub chronicznych ekspozycji na promieniowanie. Tylko nadfiolet jest rozpatrywany z punktu widzenia wywoływania długoterminowych zmian skóry takich jak fotostarzenie czy rak skóry. Szkodliwe skutki ekspozycji skóry w zależności od długości fali promieniowania laserowego przedstawiono w tab. 2.

**TABELA 2**

Rodzaj uszkodzenia skóry a długość fali promieniowania

Zakres długości fal	Rodzaj uszkodzenia skóry
UV	Zaczerwienienie, poparzenie, fotostarzenie, rak skóry
VIS	Uszkodzenia termiczne
IR	Uszkodzenia termiczne

### 3. KLASY BEZPIECZEŃSTWA LASERÓW

Klasy bezpieczeństwa laserów określone są w normie PN-EN 60825-1:2005 [12] a producenci urządzeń laserowych zobligowani są do umieszczenia na swoich produktach informacji o klasie bezpieczeństwa do której dany laser należy. Dzięki temu użytkownicy tych urządzeń wiedzą, jakie środki bezpieczeństwa mają przedsięwziąć, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia zagrożeń spowodowanych generowanym promieniowaniem laserowym. Zgodnie z ww. normą [12] wyróżniamy następujące klasy laserów:

- **klasa 1** – lasery całkowicie bezpieczne
- **klasa 1M** – lasery klasy 1 emitujące promieniowanie w zakresie 302,5 – 4000 nm, które mogą być niebezpieczne w przypadku wprowadzenia elementów optycznych w tor wiązki laserowej
- **klasa 2** – lasery niecałkowicie bezpieczne, emitujące promieniowanie widzialne w zakresie 400 – 700 nm; ochrona oczu jest zapewniona przez zamknięcie oka na skutek odruchu zamknięcia powiek w przypadku silnego oświetlenia oczu

- **klasa 2M** – lasery klasy 2, które mogą być niebezpieczne w przypadku wprowadzenia elementów optycznych w tor wiązki laserowej
- **klasa 3R** – lasery małego ryzyka,
- **klasa 3B** – lasery niebezpieczne w każdym przypadku patrzenia w wiązkę laserową bezpośrednio padającą lub po odbiciu zwierciadlanym
- **klasa 4** – lasery bardzo niebezpieczne; należy chronić oczy i skórę zarówno przed promieniowaniem bezpośrednim jak i rozproszonym.

Poza urządzeniami klasy 1, użytkowanie laserów niesie za sobą możliwość wystąpienia zagrożeń ich promieniowaniem dla oczu i skóry człowieka. Najniebezpieczniejsze urządzenia laserowe należą do grupy czwartej. Ich przykładem są wszelkiego rodzaju lasery wykorzystywane przy cięciu, spawaniu i znakowaniu, oraz niektóre z laserów stosowanych w medycynie (np. lasery laserowe) i lasery laboratoryjne. Przy obsłudze tych laserów konieczne jest zachowanie daleko idących środków bezpieczeństwa tj. stosowanie okularów i odzieży ochronnej. Lasery te mogą być użytkowane wyłącznie przez wysoko wykwalifikowaną kadrę pracowniczą bądź roboty przemysłowe, które są w trakcie pracy nadzorowane w systemie wideo.

Każdy stosowany na stanowisku pracy laser musi mieć przypisaną klasę lasera, która wiąże się z koniecznością stosowania odpowiednich środków ochrony przed promieniowaniem laserowym bezpośrednim, natomiast może istnieć potrzeba zabezpieczenia oczu pracownika przed promieniowaniem odbitym i rozproszonym od powierzchni, na które pada bezpośrednio promieniowanie laserowe. Promieniowanie to często jest również niebezpieczne dla ludzi i powinno być uwzględniane przy projektowaniu bezpiecznego stanowiska z urządzeniem laserowym oraz jego eksploatacji.

Pomiary odpowiednich parametrów promieniowania laserowego na stanowiskach pracy wyposażonych w urządzenia laserowe powinny być wykonywane zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącym badań czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [10], a na ich podstawie powinna być dokonana ocena ryzyka zawodowego pracowników obsługujących te urządzenia, zgodnie z przyjętymi kryteriami oceny zagrożenia promieniowaniem laserowym [9].

#### 4. KRYTERIA OCENY ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM LASEROWYM

---

Najwyższy poziom promieniowania laserowego, który nie powoduje obrażeń oczu i skóry określany jest w odpowiednich aktach prawnych: na

poziomie krajowym – w rozporządzeniu, a na poziomie Unii Europejskiej – w Dyrektywie. W Polsce określa go rozporządzenie sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [9] jako maksymalną dopuszczalną ekspozycję – MDE. W UE określa go dyrektywa dotycząca minimalnych wymagań ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na promieniowanie optyczne [11] – jako graniczną wartość ekspozycji. Ustalone wartości graniczne odnoszą się do przypadkowych, krótkotrwałych ekspozycji człowieka na to promieniowanie, a nie do zamierzonych ekspozycji dla celów medycznych, rehabilitacyjnych, czy optycznej tomografii komputerowej (OCT). Ekspozycja na promieniowanie laserowe, którego parametry przekraczają ustalone wartości MDE (lub odpowiednio wartości graniczne ekspozycji), wskazuje na duże ryzyko zawodowe, co jest równoznaczne ze szkodliwym skutkiem dla zdrowia człowieka. Działanie promieniowania laserowego na tkankę ma różny charakter w zależności od gęstości mocy promieniowania i od czasu ekspozycji. Wartości graniczne ekspozycji i MDE na promieniowanie laserowe zależą od wielu czynników, takich jak [9, 11]:

- długość fali promieniowania laserowego
- czas trwania impulsu laserowego lub czasu trwania ekspozycji
- rodzaj tkanki narażonej na obrażenie
- charakter ekspozycji (bezpośrednie patrzenie w wiązkę promieniowania lub patrzenie na promieniowanie rozproszone – tylko w [9])
- rozmiar obrazu na siatkówce oka, w przypadku promieniowania z zakresu 400 – 1400 nm.

W związku z powyższym wartości graniczne ekspozycji i MDE są bardzo zróżnicowane i w zestawione są w kilku tabelach osobno dla skóry i oczu, tak w rozporządzeniu [9] jak i dyrektywie [11].

## 5. ANALIZA ZAGROŻEŃ PROMIENIOWANIEM LASEROWYM

---

Jak już wcześniej zaznaczono użytkownik znając klasę lasera może zastosować odpowiednie środki ochrony przed bezpośrednim promieniowaniem laserowym. Jednakże może także zaistnieć potrzeba zabezpieczenia oczu pracownika przed promieniowaniem odbitym od powierzchni, na które pada bezpośrednio promieniowanie laserowe. Gęstość natężenia promieniowania optycznego na wyjściu typowych laserów do zastosowań przemysłowych i medycz-

nych, w przypadku niezamierzonej ekspozycji oka lub skóry, znacznie przekracza maksymalne dopuszczalne ekspozycje na promieniowanie laserowe zawarte w rozporządzeniu [9]. Promieniowanie to padając na obrabianą powierzchnię (metal, plastik, skóra, szkliwo, itp.) może zostać pochłonięte lub ulec odbiciu o charakterze kierunkowo – rozproszonym. Taki rodzaj odbicia może stanowić zagrożenie dla użytkownika, gdyż wiązka laserowa, nawet rozproszona, dalej może być szkodliwa dla zdrowia człowieka.

Biorąc pod uwagę fakt, że wiele stosowanych w przemyśle laserów emituje promieniowanie z zakresu podczerwieni lub nadfioletu, które to zakresy promieniowania optycznego są niewidzialne dla oka ludzkiego, zagrożenie promieniowaniem laserowym staje się wtedy większe, gdyż nie występuje reakcja obronna człowieka – jak np. natychmiastowe odsunięcie się z linii rozchodzenia się wiązki laserowej.

Z tych też powodów istotnym jest przeprowadzanie analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym odbitym od powierzchni, na którą pada, w zależności od rodzaju i parametrów stosowanego lasera oraz tej powierzchni. Przykładem procesu technologicznego, podczas którego występuje jedno z największych zagrożeń promieniowaniem optycznym jest spawanie laserowe.

### 5.1. Analiza zagrożeń promieniowaniem optycznym podczas spawania laserowego

Spawanie laserowe stanowi około 21 % wszystkich zastosowań laserów w przemyśle. Proces ten polega na stapianiu obszaru styku łączonych przedmiotów ciepłem otrzymanym w wyniku doprowadzenia do tego obszaru skoncentrowanej wiązki promieniowania laserowego o bardzo dużej gęstości mocy - rzędu  $10^6 - 10^{15}$  W/cm<sup>2</sup>. Cechą charakterystyczną promieniowania laserowego stosowanego do spawania jest duża moc wyjściowa oraz skupiona wiązka promieniowania laserowego z zakresu podczerwieni, która jest niewidzialna dla oka ludzkiego. Podczas procesu spawania dochodzi również do wtórnej emisji nielaserowego promieniowania optycznego z zakresu nadfioletu i promieniowania widzialnego. W rezultacie proces ten stanowi najsilniejsze źródło zarówno promieniowania laserowego jak i nielaserowego promieniowania optycznego. Promieniowanie to stanowi przede wszystkim zagrożenie dla oczu, które może częściowo lub całkowicie upośledzić widzenie (w przypadku uszkodzenia w obrębie dołka środkowego na siatkówce oka).

Proces spawania laserowego można podzielić na dwie lub trzy fazy: 1) nagrzewanie powierzchni – energia promieniowania powoduje wzrost temperatury powierzchni materiału spawanego, jednocześnie zwiększając współczynnik absorpcji aż do momentu uzyskania jeziora spawalniczego; w tej

fazie występuje promieniowanie laserowe odbite kierunkowo lub rozproszone od materiału spawanego, 2) jeziorko spawalnicze – faza połączenia się ze sobą spawanych materiałów; w tej fazie rozpoczyna się emisja wtórnego nielaserowego promieniowania optycznego (UV i VIS), 3) plazma – powstaje tylko wtedy, gdy gęstość promieniowania laserowego na spawanym materiale przekracza jego próg uszkodzenia; w tej fazie występuje największa emisja nielaserowego promieniowania optycznego.

W dostępnych publikacjach można znaleźć wyniki pomiarów natężenia napromienienia promieniowania laserowego rozproszonego jak i nielaserowego promieniowania optycznego emitowanego podczas spawania. Przykładowo zmierzony poziom natężenia napromienienia promieniowania rozproszonego w odległości 1 m od powierzchni spawanej podczas spawania laserem CO<sub>2</sub> o mocy 1 kW wynosił 7,2 W/m<sup>2</sup> [5]. Taka relatywnie mała wartość poziomu natężenia promieniowania wskazuje, że pomiar ten wykonany był podczas drugiej fazy spawania tj, fazy jeziorka spawalniczego. Natomiast inne pomiary [3] promieniowania rozproszonego podczas spawania laserem CO<sub>2</sub> o mocy 2,5 kW ale wykonane podczas fazy nagrzewania powierzchni wykazały, że wartość natężenia napromienienia w odległości 1 m od powierzchni spawanej wynosi 1,2 MW/m<sup>2</sup>. Taka ilość promieniowania laserowego może natychmiast uszkodzić oczy i skórę. Dlatego też potrzebne jest zastosowanie dodatkowej osłony chroniącej przed tym promieniowaniem, zwłaszcza w pierwszej fazie spawania.

Podobnie jest w przypadku wyników pomiarów nielaserowego promieniowania optycznego emitowanego podczas spawania laserem CO<sub>2</sub>, które wskazują na przekroczenia wartości granicznych ekspozycji dla promieniowania nadfioletowego oraz światła niebieskiego przy odległości pomiaru wynoszącej 1 m od powierzchni spawanej [3]. Możliwe jest zarówno fotochemiczne lub termiczne uszkodzenie siatkówki jak i uszkodzenie rogówki oka tym promieniowaniem.

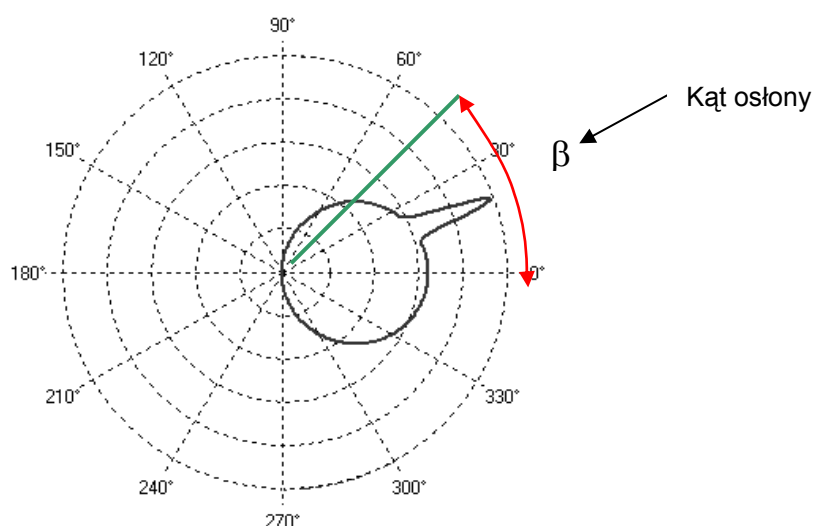
## 5.2. Program do analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym

Producenci urządzeń laserowych w szczególności dla aplikacji przemysłowych, laboratoryjnych i medycznych zakładają, iż obsługa potrafi korzystać z lasera i jest odpowiednio poinstruowana o zagrożeniach wynikających z przypadkowych ekspozycji na promieniowanie laserowe. Dlatego, też przy projektowaniu urządzeń laserowych projektują tylko osłony laserowe, które wytłumiają promieniowanie optyczne we wszystkich kierunkach poza kierunkiem propagacji promieniowania (wytłumianie odbić wewnątrz urządzenia laserowego). Jak przedstawiono wcześniej, na przykładzie spawania laserowego, taki rodzaj odbicia może stanowić zagrożenie dla użytkownika.



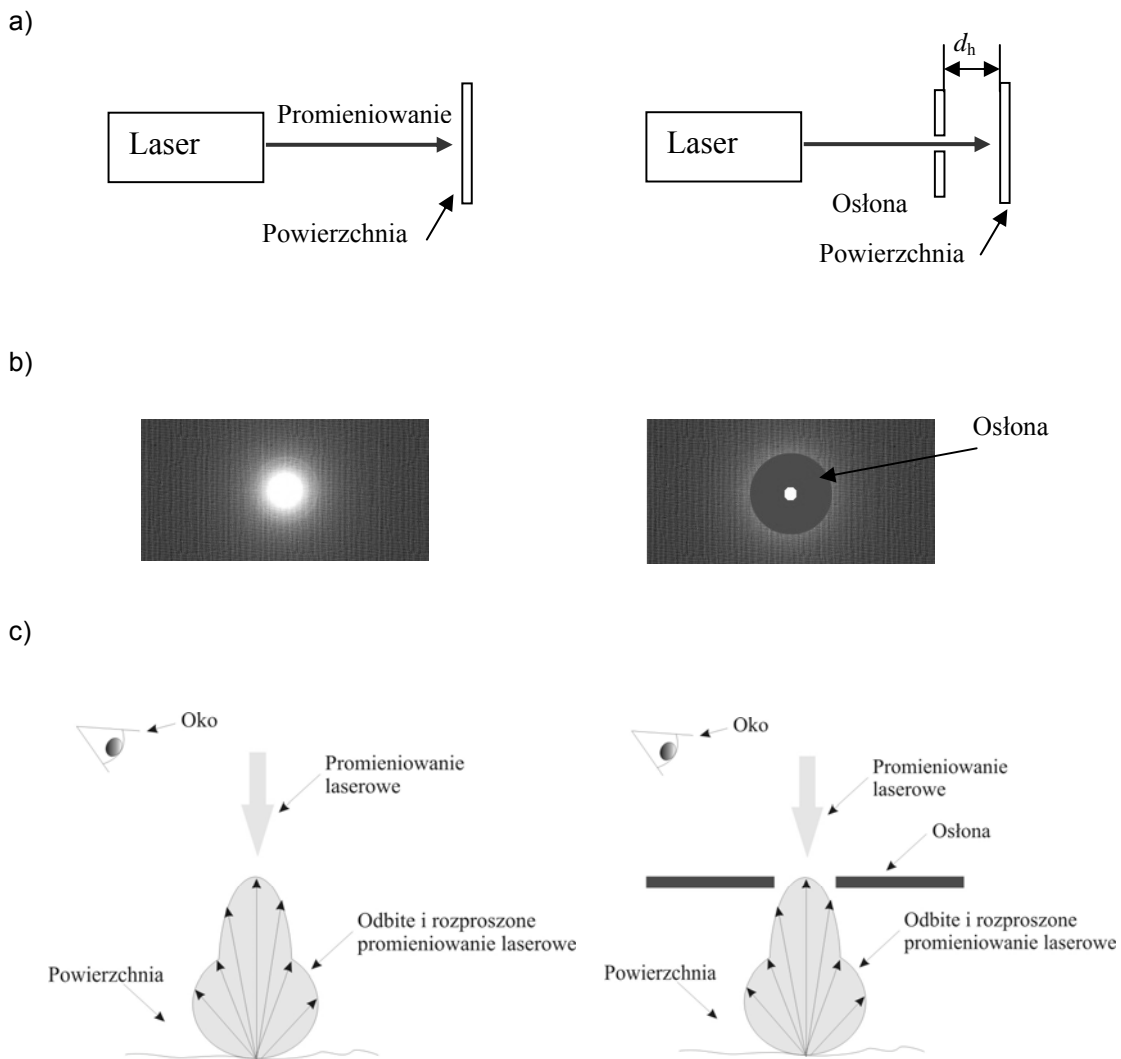
Z tego też powodu istotnym jest przeprowadzanie analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym odbitym od powierzchni, na którą pada, w zależności od rodzaju i parametrów stosowanego lasera oraz tej powierzchni. W tym celu w CIOP-PIB opracowano autorski program komputerowy, który służy do przeprowadzania prostej analizy zagrożeń promieniowaniem laserowym „Laser Shield Solver”.

Celem programu „Laser Shield Solver” jest wyznaczenie rozkładu natężenia promieniowania laserowego odbitego od różnego rodzaju powierzchni oraz wyliczenie niezbędnego rozmiaru kąтового osłony laserowej (zwanego dalej kątem osłony), który zapewni ochronę oka przed odbitym promieniowaniem laserowym. Główny wyliczany parametr – kąt osłony określa, w jakim zakresie kątów (liczonych od prostej normalnej do powierzchni przechodzącej przez punkt odbicia) promieniowanie rozproszone podczas odbicia jest szkodliwe dla wzroku – stanowi o dużym ryzyku zawodowym. Jako kryterium oceny przyjęto wartości graniczne parametrów promieniowania laserowego zawarte w Dyrektywie UE [11]. Zmieniając parametry promieniowania laserowego oraz rodzaj powierzchni, na którą pada to promieniowanie można określić minimalny rozmiar kątowy osłony laserowej tak, aby rozproszone i odbite od powierzchni nie stanowiło zagrożenia dla oczu pracownika. Na rysunku 1 przedstawiono kąt osłony zaznaczony na biegunowym wykresie natężenia promieniowania w funkcji kąta odbicia.



Rys. 1. Wyznaczony kąt osłony na wykresie natężenia promieniowania w funkcji kąta odbicia

Na rysunku 2a) przedstawiono schemat urządzenia laserowego z osłoną i bez osłony ochronnej, na 2b) przedstawiono symulację promieniowania laserowego odbitego od powierzchni. Natomiast na rysunku 2c) możemy zobaczyć rozkład promieniowania odbitego w sposób kierunkowo – rozproszony od chropowatej powierzchni.



**Rys. 2.**

a) Schemat urządzenia laserowego bez osłony i z osłoną ochronną. b) Symulacja promieniowania laserowego odbitego od powierzchni. c) Rozkład promieniowania odbitego w sposób kierunkowo – rozproszony od chropowatej powierzchni

Zadaniem osłony laserowej jest wyfiltrowanie przestrzenne promieniowania rozproszonego, które mogłoby stanowić zagrożenie dla oczu osób obsługujących laser.

Znając wartość kąta osłony wyliczonego przy pomocy programu można wyznaczyć promień osłony chroniącej oko przed promieniowaniem laserowym ( $R_o$ ), zgodnie ze wzorem (1):

$$R_o = d_h \cdot \cos \beta \quad (1)$$

gdzie:

- $d_h$  – odległość osłony od powierzchni odbijającej, w m,  
 $\beta$  – kąt osłony.

Przykład analizy zagrożeń promieniowaniem odbitym od srebra gładzonego dla promieniowania lasera półprzewodnikowego HPLD wykonanej z wykorzystaniem opracowanego programu „Laser Shield Solver” przedstawiono w tab. 3.

**TABELA 3**

Wyniki obliczeń kąta osłony dla spawania laserowego (faza nagrzewania powierzchni)

Dane wejściowe	
Materiał spawany	Srebro gładzone
Chropowatość	120 nm
Współczynnik odbicia	0,95
Średnie nachylenie	3,95°
Rodzaj lasera	HPLD
Długość fali promieniowania	940 nm
Moc wyjściowa	2500 W
Czas ekspozycji	Powyżej 100 s (CW)
Powierzchnia wiązki w ognisku	2 mm
Kąt padania promieniowania	30°
Wyniki	
Natężenie napromienienia na materiale spawanym	$3,6 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$
Maksymalne natężenie napromienienia przy oku	$1,7 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ (apretura oka 7 mm)
Obliczony kąt osłony	85°

Podczas pracy lasera HPLD o mocy 2,5 kW w czasie powyżej 100 s i średnicy wiązki 2 mm, przy kącie padania wiązki na powierzchnię srebra gładzonego wynoszącym 30° wyznaczony kąt osłony wynosi 85°. Na jego podstawie można wyznaczyć promień osłony, zgodnie z zależnością (1) uwzględniając odległość osłony od powierzchni odbijającej. Oznacza to, że przy zastosowaniu tak wyznaczonej osłony oko ludzkie jest zabezpieczone przed szkodliwym promieniowaniem laserowym.

## 6. PODSUMOWANIE

---

Większość komercyjnych urządzeń laserowych można uznać za bezpieczne dla użytkownika. Bezpieczeństwo to zapewnione jest przez fabryczne zabezpieczenia systemowe oraz obsługę wykonywaną przez wykwalifikowany personel. Tylko dla niektórych szczególnych przypadków stosowania lub obsługi urządzeń laserowych, zagrożenia związane z zapewnieniem bezpieczeństwa muszą być rozważane w szczególności. Dotyczy to takich czynności jak: serwis, konserwacja, instalacja systemu laserowego, justowanie oraz budowanie systemu laserowego lub sytuacji, gdy stosuje się system laserowy do innych celów niż te, do których został on przeznaczony czy zaprojektowany.

Jakkolwiek uważa się, że generalnie są to urządzenia bezpieczne, to zdarzają się wypadki niezamierzonej ekspozycji na promieniowanie laserowe i zazwyczaj jest to ekspozycja oka na promieniowanie odbite od powierzchni odbijających światło w sposób kierunkowy [3]. Najczęściej wypadki takie występują przy justowaniu systemu laserowego [2]. Może również wystąpić zagrożenie rozproszonym promieniowaniem laserowym, gdy nastąpi np. uszkodzenie sprzętu, który powoduje prawie całkowite zamknięcie wiązki w obudowie (jak to ma miejsce np. przy spawaniu).

Biorąc pod uwagę fakt, że szkodliwe skutki ekspozycji na promieniowanie laserowe rozpatruje się już od bardzo krótkich czasów ekspozycji (poniżej  $10^{-9}$  s) szczególnie istotnym jest zapewnienie, aby ekspozycja pracownika na to promieniowanie nie przekraczała wartości dopuszczalnych (MDE).

Wykonując symulację programem „Laser Shield Solver” otrzymujemy wyniki charakteryzujące promieniowanie laserowe odbite od powierzchni, na którą pada oraz niezbędny dla ochrony oczu pracownika rozmiar kątowny osłony laserowej. Wyniki te mogą być wykorzystane zarówno do analizy zagrożeń jak i do projektowania odpowiednich osłon ochronnych.

## LITERATURA

1. Bader O., Lui H.: Laser safety and the eye: Hidden hazards and practical pearls, Proceedings of the American Academy of Dermatology Annual Meeting, Washington, 1996
2. Haifeng L., Guanghuang G., Dechang W., Guidao X., Liangshun S., Jiemin X., Haibiao W.: Ocular injuries from accidental laser exposure, Health Physics, vol. 56 no 5, 711-716, 1989.
3. Hietanen M., Honkasalo A., Laitinen H., Lindroos L., Welling I., von Nandelstadh P.: Evaluation of hazards in CO<sub>2</sub> laser welding and related processes, Am. Occup. Hyg., Vol 36, no 2, pp. 183-188, 1992

4. Hurup K., Glansholm A., Schröder K.: Secondary radiation associated with laser material processing, Proceedings of the 3-rd EUREKA Industrial Laser Safety Forum, pp. 317-322, Copenhagen'95, 1995
5. Rockwell R.J., Moss C.E.: Optical radiation hazards of laser welding processes. Part II: CO<sub>2</sub> laser. Am. Ind.Hyg.Assoc.J. 50(8): 419-427, 1989.
6. Schröder K.: Handbook on industrial laser safety, [http://tuwien.ac.at/iflt/safety/in\\_body.htm](http://tuwien.ac.at/iflt/safety/in_body.htm)
7. *Laser biological hazards skin:*  
[http://www.geocities.com/muldoon432/Laser\\_Biological\\_Hazards\\_Skin.htm](http://www.geocities.com/muldoon432/Laser_Biological_Hazards_Skin.htm)
8. *Laser biological hazards eyes:*  
[http://www.geocities.com/muldoon432/Laser\\_Biological\\_Hazards\\_Eyes.htm](http://www.geocities.com/muldoon432/Laser_Biological_Hazards_Eyes.htm)
9. 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 (Dz. U. nr 217, poz. 1833).
10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 73, poz. 645
11. Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady 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).
12. PN EN 60825 –1: 2005. Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Część 1: Klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika.

Rękopis dostarczono, dnia 31.08.2006 r.

## LASER RADIATION – HEALTH AND SAFETY ASPECTS

A. WOLSKA, P. KONIECZNY

**ABSTRACT** *The article presents main hazards of laser radiation arise from work with lasers and health effects in result of exposition to this radiation. Besides safety aspects of lasers usage are described, with special attention paid on classes of laser and criterion of hazard evaluation. The analysis of optical radiation hazard during laser welding is described and concerns both non-coherent and coherent optical radiation. Article contains results of simulation obtained from "Laser Shield Solver" program. Results of this solution may be use in designing of special shields which protect worker's eye against diffuse and scattering laser radiation.*



**Dr inż. Agnieszka Wolska** jest kierownikiem Pracowni Promieniowania Optycznego w CIOP-PIB. Jest doświadczonym ekspertem w zakresie oświetlenia, ergonomii widzenia i promieniowania optycznego. Prowadzi prace badawcze z zakresu wpływu różnych parametrów oświetlenia na zmęczenie wzroku i wydajność pracy, określania własności użytkowych systemów sterowania oświetleniem oraz opracowywania metod pomiaru i oceny ryzyka zawodowego związanego z oświetleniem i promieniowaniem optycznym (laserowym i nielaserowym). Wykonuje ekspertyzy oświetlenia oraz badania oceny ryzyka zawodowego związanego z promieniowaniem optycznym. Jest certyfikowanym wykładowcą bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie: oświetlenia, ergonomii i promieniowania optycznego. Ponadto jest autorem lub współautorem wielu referatów, artykułów, monografii i poradników.

**Mgr inż. Piotr Konieczny** jest doktorantem Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Specjalizuje się w szeroko pojętej technice laserowej. Prowadzi prace badawcze z zakresu wykorzystania laserów ciała stałego w medycynie i przemyśle. Prowadzi także badania z zakresu projektowania środków ochrony przed promieniowaniem laserowym. Jest autorem i współautorem wielu referatów, artykułów i monografii. Stworzył wiele programów komputerowych służących do symulacji i modelowania zjawisk związanych z promieniowaniem optycznym.

