

Aspekty bezpieczeństwa przy obsłudze urządzeń laserowych

Urządzenie laserowe może zawierać jeden lub więcej laserów w złożonym układzie optycznym, elektrycznym lub mechanicznym. Zazwyczaj urządzenia laserowe są używane do demonstracji zjawisk fizycznych, obróbki materiałów, przechowywania i odczytu danych, transmisji i wyświetlania informacji itp. Urządzenia laserowe znalazły zastosowanie w przemyśle, medycynie, badaniach naukowych, nauczaniu oraz w produktach dla szerokiej rzeszy odbiorców. Minimalne wymagania w zakresie bezpieczeństwa w odniesieniu do ekspozycji pracowników na ryzyko związane z ekspozycją na promieniowanie laserowe zawarte są w Dyrektywie 2006/25/WE. Dyrektywa ta odnosi się również do niepożądanych efektów dla oczu i skóry wywołanych przez promieniowanie laserowe. W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z bezpieczeństwem pracy przy obsłudze urządzeń laserowych. Przedstawiono podział urządzeń laserowych na klasy oraz omówiono zagrożenia dla oczu i skóry wywołane promieniowaniem laserowym oraz działania zapewniające bezpieczną pracę z laserami.

Safety aspects in relation to laser devices

Laser device can consist of one or more lasers in a complex optical, electrical, or mechanical system. Typically, laser devices are used for demonstration of physical phenomena, material processing, data storage or transmission and display of information, etc. Laser products are used in industry, medicine, research, education and in a variety of consumer products. Directive 2006/25/EC presents minimum health and safety requirements regarding workers' exposure to the risk arising from laser radiation. This directive also discusses adverse effects caused by the exposure of eyes and skin to laser radiation. This article presents basic problems related to the safety of work with laser devices. Classes of lasers products, risk of eye and skin injury and safe work with lasers are discussed.

Wstęp

Bezpieczeństwo związane z użytkowaniem urządzeń laserowych nabrało w ostatnich latach zasadniczo innego znaczenia. Słowo laser nie jest już synonimem urządzenia, które przeznaczone jest tylko i wyłącznie do wytwarzania wiązek promieniowania o mocach mogących zniszczyć wszystko, co znajduje się na ich drodze. Laser stał się elementem powszechnie stosowanym w wielu urządzeniach, określanych mianem urządzeń codziennego użytku (np. drukarki laserowe, odtwarzacze płyt CD, DVD). Mowa tu jednak o laserach, które są stosunkowo niewielkiej mocy, a budowa kompletnych urządzeń, w których są zastosowane, sprawia, że ryzyko związane z emitowanym przez nie promieniowaniem praktycznie nie występuje, gdyż wiązka laserowa jest szczelnie odizolowana od użytkownika. Do urządzeń powszechnego użytku, dla których wiązka promieniowania jest nieosłonięta – gdyż to ona właśnie stanowi o wartości użytkowej wyrobu – zaliczane są wskaźniki laserowe stosowane np. w urządzeniach poziomujących i dalmierzach.

Najwyższy poziom promieniowania laserowego, który nie powoduje urazów oczu i skóry, określony jest w dyrektywie 2006/25/WE [1]. W Polsce ustala go 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, jako maksymalną dopuszczalną ekspozycję MDE [2]. Ustalane wartości graniczne odnoszą się do przypadkowych, krótkotrwałych ekspozycji człowieka na to promieniowanie, a nie do zamierzonych ekspozycji do celów medycznych, rehabilitacyjnych, czy optycznej tomografii komputerowej. Ekspozycja na promieniowanie laserowe, którego parametry przekraczają ustalone wartości MDE wskazuje na duże ryzyko zawodowe, co jest równoznaczne ze szkodliwym skutkiem dla zdrowia. Dlatego pomiary odpowiednich parametrów promieniowania laserowego na stanowiskach pracy powinny być wykonywane zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi badań czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [3]. Na ich

podstawie powinna być dokonana ocena ryzyka zawodowego, zgodnie z przyjętymi kryteriami oceny [4].

O niewątpliwie dużym ryzyku, jakie może wiązać się z użytkowaniem urządzeń laserowych, muszą wiedzieć operatorzy stanowisk, na których promieniowanie laserowe wykorzystywane jest w procesach technologicznych. Stosowanie na coraz szerszą skalę różnego rodzaju spawarek, znakowarek lub wykrawarek laserowych sprawia, że przemysłowe urządzenia laserowe należy traktować również jako powszechne. Na fot. 1. przedstawiono typowe urządzenie przemysłowe do laserowego cięcia materiałów.

Promieniowanie laserowe wykorzystywane jest również w medycynie – najczęściej w laserach chirurgicznych, jak np. skalpele, koagulatory (tzw. lasery twarde) i lasery biostymulacyjne (tzw. lasery miękkie). Na fot. 2. przedstawiono przykład zabiegu chirurgicznego z wykorzystaniem lasera.

Możliwości, jakie daje promieniowanie laserowe, którego wiązkę można stosunkowo łatwo formować w celu osiągnięcia spektakularnych efektów świetlnych sprawia, że lasery są już powszechnie wykorzystywane w działalności rozrywkowej. Pisząc o wykorzystaniu laserów nie należy zapomnieć o najwcześniejszych zastosowaniach, czyli badaniach naukowych i zastosowaniach militarnych. Dynamiczny rozwój technologii laserowych jest zazwyczaj następstwem badań naukowych nad konstruowaniem nowych urządzeń, dzięki czemu lasery znajdują coraz szersze zastosowanie w świecie nauki. Najczęściej lasery te są badane w warunkach laboratoryjnych, a stanowiska badawcze



Promieniowanie generowane jest przez głowicę lasera CO₂ (długość fali $\lambda=10,6 \mu\text{m}$). Maksymalna moc promieniowania 2000 W. Obszar oddziaływania wiązki lasera z materiałem obrabianym jest izolowany od otoczenia, w którym przebywają pracownicy poprzez specjalną obudowę ochronną.

Fot. 1. Urządzenie laserowe do cięcia materiałów
Fot 1. Laser device for materials cutting



Tabela 1

nie mają profesjonalnych osłon przed promieniowaniem laserowym. Przykład zastosowania lasera w badaniach naukowych przedstawiono na fot. 3.

Przedstawione przykłady wykorzystania laserów wskazują jednoznacznie na potrzebę używania odpowiednich środków bezpieczeństwa, zależnych od rodzaju lasera i jego zastosowania. Aby wiedzieć, po jakie środki należy sięgnąć, najpierw trzeba zrozumieć, czym charakteryzuje się promieniowanie laserowe i jakie skutki szkodliwe dla zdrowia może ono powodować.

Charakterystyka promieniowania laserowego i laserów

Mówiąc o promieniowaniu laserowym, należy mieć na względzie jego różnorodność. Wspólną cechą wszystkich laserów jest emisja wymuszona kwantów energii w ośrodku wzmacniającym (nazywanym również substancją laserującą lub ośrodkiem optycznie czynnym). Działanie lasera polega na wzbudzeniu ośrodka optycznie czynnego, a następnie wyzwoleniu energii w postaci kwantu promieniowania spójnego. Promieniowanie laserowe charakteryzuje się wysokim stopniem spójności, monochromatyczności i ukierunkowania, a kątem rozbieżności wiązki zwykle nie przekracza kilku miliradianów. Oprócz możliwości skupienia całej energii promieniowania lasera w nadzwyczaj małym paśmie widma i małym kącie bryłowym, można ten sam efekt uzyskać w odniesieniu do czasu.

Istotną cechą lasera jest również to, że w większości jego aplikacji można uzyskać generację promieniowania tylko o określonym stanie polaryzacji. Szeroki zakres zastosowań laserów wiąże się z ich bogatym asortymentem i parametrami, które muszą być ściśle dobrane do potrzeb użytkownika. Laser emituje promieniowanie zazwyczaj o jednej lub kilku długościach fal i określonym zakresie mocy adekwatnym do danego zastosowania. Przykłady zastosowań wybranych typów laserów zaprezentowano w tabeli 1.

ZESTAWIENIE PRZYKŁADOWYCH ZASTOSOWAŃ WYBRANYCH TYPÓW LASERÓW

Sample laser types

Typ lasera	Długość fali, nm	Rodzaj pracy, czas trwania impulsu	Sprawność	Przykładowe zastosowanie
Rubinowy $Al_2O_3:Cr^{3+}$	694,3	impulsowa, od kilku do kilkunastu μs	0,1-0,5%	spawanie, topienie, wiercenie, stomatologia, holografia impulsowa, biologia, pomiar odległości
Neodymowy $Nd^{3+}:YAG$	1064,6 1300, 1400	ciągła lub impulsowa, od kilku ps do kilkunastu ms	0,1-10% (zależy od rodzaju pompy – większa przy pompie diodowej)	telekomunikacja, laserowe układy śledzące, kontrolowane reakcje jądrowe, chirurgia, mikroobróbka, cięcie, pomiar odległości
Neodymowy na szkle Nd: szkło	1050-1060	ciągła lub impulsowa	1-5% (przy pompie lampowej)	wzmacniacz optyczny do uzyskiwania impulsów o mocach GW, inicjowanie kontrolowanej reakcji jądrowej, cięcie, mikrosynteza
Półprzewodnikowy GaInAsP, GaAs, AlGaAs	800-1600	ciągła lub impulsowa	60-75%	telekomunikacja światłowodowa, geodezja, poligrafia (pośrednio jako pompa do nacinania matryc), nagrywanie i odczytywanie płyt CD i DVD
Tytanowy $Al_2O_3:Ti^{3+}$	przestrajalna: 665-1130	ciągła lub impulsowa od kilku fs	0,01-0,1% (zależy od pompy)	do określania poziomu skażenia atmosfery (system LIDAR), separacja izotopów, badania biomedyczne
He-Ne	632,8	ciągła	0,1%	metrologia, holografia, interferometria
Ne-Cu (laser na parach miedzi)	510,6 i 578,2	impulsowa	do 3%	precyzyjna obróbka materiałów, dermatologia
Azotowy N_2	337,1	impulsowa 10 ns	20%	spektroskopia, reakcje fotochemiczne
CO_2	najczęściej 10600	ciągła lub impulsowa	30%	obróbka materiałów, cięcie, spawanie, chirurgia, stomatologia, laserowe układy śledzące, kontrolowane reakcje jądrowe, rozdzielanie izotopów
Aleksandrytowy	przestrajalna: 710-820	ciągła lub impulsowa	0,3%	do określania poziomu skażenia atmosfery (LIDAR), medycyna, spektroskopia
Excimerowy KrCl, ArF, KrF, XeCl, XeF	157, 193, 248, 308, 351	impulsowa	1-2%	chirurgia (okulistyka, kardiochirurgia), mechanika precyzyjna, znakowanie, wykonywanie otworów
Erbowy na szkle Er: szkło	1540	impulsowa	0,2%	pomiar odległości bezpieczny dla oka
Erbowy Er: YAG	2940	impulsowa	1,5%	medycyna, badania biomedyczne

Legenda: μs – mikrosekundy, ps – pikosekundy, fs – femtosekundy, ns – nanosekundy, GW – gigawaty

Idea zastosowań laserów w medycynie polega na tym, aby promieniowanie laserowe wywołało leczniczy i przewidywalny skutek. Przy zabiegach medycznych z wykorzystaniem promieniowania laserowego dawka tego promieniowania z założenia przekracza wartość maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE). Z tego względu specjalne środki bezpieczeństwa muszą być stosowane przez personel medyczny, tak aby niezamierzona ekspozycja na to promieniowanie nie spowodowała skutków szkodliwych tak u pacjenta, jak i personelu medycznego. Personel medyczny uczestniczący w zabiegu zawsze powinien stosować odpowiednio dobrane okulary ochronne.

Fot. 2. Zabieg medyczny wykonywany z użyciem promieniowania laserowego

Fot. 2. Medical treatment with a laser beam



Układ optyczny z wykorzystaniem lasera emitującego promieniowanie z zakresu widzialnego (barwa zielona znajduje się w obszarze maksymalnej skuteczności uszkodzeń siatkówki oka), które nie jest osłonięte żadnym ekranem ochronnym. Pracownik jest narażony zarówno na bezpośrednie, jak i odbite promieniowanie laserowe. Szczególne znaczenie ma stosowanie przez pracownika odpowiednio dobranych okularów ochronnych.

Fot. 3. Laboracyjny układ optyczny z wykorzystaniem promieniowania laserowego

Fot. 3. Optical laboratory system with laser radiation

W związku z tym, że promieniowanie laserowe o zróżnicowanych długościach fal i mocach może wywołać różne skutki podczas oddziaływania z tkanką biologiczną, lasery podzielono na siedem klas (PN-EN 60825-1:2000): 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4. Producenci są zobligowani do umieszczenia na urządzeniu laserowym informacji o klasie bezpieczeństwa, do której należy dany laser. Dzięki temu użytkownicy tych urządzeń wiedzą, jakie środki bezpieczeństwa mają przedsięwziąć. W tabeli 2. przedstawiono charakterystykę klas laserów.

Poza urządzeniami klasy 1. użytkowanie laserów niesie za sobą ryzyko dla oczu i skóry człowieka związane z promieniowaniem. Najniebezpieczniejsze urządzenia laserowe należą do klasy 4. – przykładem są lasery wykorzystywane przy cięciu, spawaniu i znakowaniu oraz niektóre z laserów stosowanych w medycynie (np. lance laserowe). Przy obsłudze tych urządzeń konieczne jest zachowanie daleko idących środków bezpieczeństwa, jak np. okulary ochronne, interlocki, ekranowanie, obudowy.

Każdy stosowany na stanowisku pracy laser musi mieć przypisaną klasę, która wiąże się z koniecznością stosowania odpowiednich środków ochronnych przed promieniowaniem laserowym bezpośrednim; może także istnieć potrzeba ochrony oczu pracownika przed promieniowaniem odbitym i rozproszonym. Promieniowanie to jest często również niebezpieczne dla ludzi i powinno być uwzględnione przy projektowaniu bezpiecznego stanowiska z urządzeniem laserowym.

Zagrożenia dla oka i skóry wywołane promieniowaniem laserowym

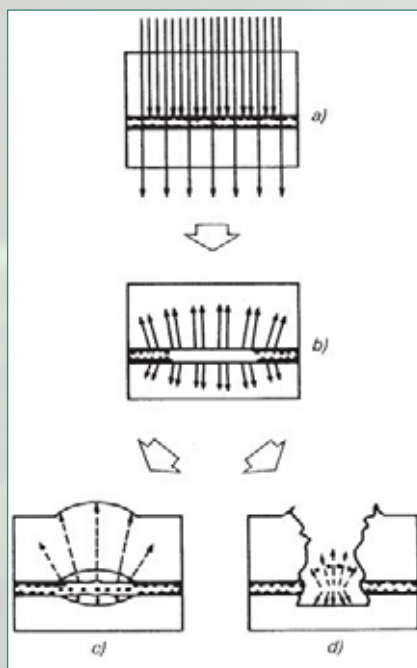
Zagrożenie promieniowaniem laserowym dla zdrowia człowieka dotyczy oczu i skóry. Uszkodzenie tkanek zachodzi zazwyczaj na skutek reakcji termicznych w wyniku absorpcji dużej ilości energii przenoszonej przez promieniowanie laserowe. Schemat uszkodzeń wywołanych promieniowaniem laserowym w strukturach biologicznych przedstawiono na rysunku 1.

Najbardziej zagrożone promieniowaniem laserowym są oczy. W zależności od długości fali zagrożone są różne elementy składowe oka. Nadfiolet daleki UVC z zakresu 200-215 nm i podczerwień o długościach fal powyżej 1400 nm pochłaniane są przez rogówkę. Bliski nadfiolet UVA oraz częściowo podczerwień IRA i IRB pochłaniane są przez soczewkę, natomiast promieniowanie widzialne i bliska podczerwień IRA są prze-

KLASY LASERÓW I URZĄDZEŃ LASEROWYCH (wg PN-EN 60825-1: 2000)
Classes of lasers and laser devices

Klasa	Charakterystyka
1	Lasery, które są bezpieczne w racjonalnych warunkach pracy.
1M	Lasery emitujące promieniowanie długości fal w zakresie od 302,5 nm do 4000 nm, które są bezpieczne w racjonalnych warunkach pracy, ale mogą być niebezpieczne podczas patrzenia w wiązkę przez przyrządy optyczne.
2	Lasery emitujące promieniowanie widzialne w zakresie długości fal od 400 do 700 nm. Ochrona oka jest zapewniona w sposób naturalny przez instynktowne reakcje obronne.
2M	Lasery emitujące promieniowanie widzialne w zakresie długości fal od 400 do 700 nm. Ochrona oka jest zapewniona w sposób naturalny przez instynktowne reakcje obronne, ale mogą być niebezpieczne podczas patrzenia w wiązkę przez przyrządy optyczne.
3R	Lasery emitujące promieniowanie w zakresie długości fal do 302,5 nm do 10 ⁶ nm, dla których bezpośrednie patrzenie w wiązkę jest potencjalnie niebezpieczne.
3B	Lasery, które są niebezpieczne podczas bezpośredniej ekspozycji promieniowania. Patrzenie na odbicia rozproszone jest zazwyczaj bezpieczne.
4	Lasery, które mogą stwarzać zagrożenie zarówno wiązką bezpośrednią, jak i odbitą. Mogą one powodować uszkodzenie skóry oraz stwarzają zagrożenie pożarem. Podczas obsługi laserów klasy 4. należy zachować szczególną ostrożność.

puszczane do siatkówki. Specjalną uwagę zwraca się na uszkodzenie siatkówki promieniowaniem z zakresu 400-1400 nm, które może być szczególnie szkodliwe. Wiąże się to



Rys. 1. Schemat uszkodzeń wywołanych promieniowaniem laserowym w strukturach biologicznych [5]: a) – energia laserowa padająca na tkanki jest absorbowana przez struktury biologiczne; b) – zaabsorbowana energia wytwarza ciepło, które jest przewodzone do otaczających tkanek; c) – w przypadku laserów o długotrwałych impulsach lub o pracy ciągłej trwanie frontu termicznego powoduje progresywne rozszerzanie się uszkodzenia; d) – w przypadku laserów o krótkotrwałych impulsach duża gęstość mocy powoduje eksplozyjne pęknięcie komórek i uszkodzenia na skutek fizycznych przemieszczeń

Fig. 1. Diagram of laser-induced damage to biological systems [5]: a) – laser energy absorbed by the biological system; b) – absorbed energy produces heat which is conducted to surrounding tissues; c) – for long-pulse or CW lasers, persistence of the thermal front gives rise to progressively enlarging damage; d) – for short-pulse lasers, high power density induces explosive rupture and injuries of cells as an effect of physical displacements

z faktem, że wiązka laserowa o średnicy kilku milimetrów może być skupiona na siatkówce oka do małej plamki o średnicy 10 μm. Oznacza to, że natężenie napromienienia wiązki wchodzącej do oka o wartości 1 mW/cm² jest efektywnie zwiększone do wartości 100 W/cm² na siatkówce oka [6]. W rezultacie docierające do siatkówki promieniowanie jest wystarczająco duże, aby spowodować jej uszkodzenie. Stopień uszkodzenia jest różny w zależności od miejsca na siatkówce, gdzie skupiane jest promieniowanie laserowe. Uszkodzenie w obrębie dołka środkowego może spowodować w rezultacie stałą ślepotę.

Skóra jest największym powierzchniowo narządem ciała człowieka, a ryzyko jej uszkodzenia przez wiązkę laserową jest bardzo duże. Najbardziej zagrożona jest skóra rąk, głowy i ramion. Do wywołania uszkodzeń skóry potrzebne są jednak znacznie większe dawki promieniowania laserowego niż w przypadku oka. Promieniowanie laserów pracujących w zakresie widzialnym oraz podczerwonym może wywołać łagodną postać rumienia, a także – przy odpowiednio dużej dawce – być przyczyną poparzeń. Krótkotrwałe impulsy laserowe o dużej mocy szczytowej mogą powodować zwęglenie tkanek.

Działania zapewniające bezpieczeństwo pracy z laserami

Prawidłowo i z zapewnieniem bezpieczeństwa zorganizowane stanowisko laserowe wymaga szczegółowej identyfikacji wszystkich zagrożeń wynikających z jego funkcjonowania i oceny związanego z nim ryzyka zawodowego. Można przyjąć zasadę, że rozważa się trzy podstawowe elementy, a zatem: wszystkie zagrożenia spowodowane samym układem laserowym, środowisko, w którym umiejscowiony jest układ oraz poziom świadomości personelu obsługującego.

PODSTAWOWE WYMAGANIA I ZALECENIA DLA UŻYTKOWNIKÓW URZĄDZEŃ LASEROWYCH
Basic requirements and recommendation for users of laser devices

Tabela 3

Wymagania i zalecenia	Klasa lasera						
	Klasa 1	Klasa 1M	Klasa 2	Klasa 2M	Klasa 3R	Klasa 3B	Klasa 4
Mianowanie inspektora do spraw bezpieczeństwa laserowego					+ ¹⁾	+	+
Zastosowanie łącznika zdalnej blokady						+	+
Uruchamianie kluczem						+	+
Zastosowanie ogranicznika lub tłumika wiązki laserowej						+	+
Urządzenie sygnalizujące emisję promieniowania					+ ¹⁾	+	+
Zastosowanie znaków ostrzegawczych						+	+
Ostonięcie wiązek laserowych					+	+	+
Unikanie odbić zwierciadlanych					+	+	+
Zastosowanie środków ochrony indywidualnej oczu						+ ²⁾	+ ²⁾
Zastosowanie odzieży ochronnej						+ ³⁾	+ ³⁾
Szkolenie pracowników w zakresie bezpieczeństwa pracy z laserami					+	+	+

¹⁾ Wymagane tylko podczas emisji promieniowania spoza zakresu widzialnego
²⁾ Wymagane, jeśli w obszarze oddziaływania promieniowania laserowego przekroczone są wartości MDE
³⁾ Wymagane, jeśli promieniowanie laserowe stwarza potencjalne zagrożenie

Podczas pracy z urządzeniami laserowymi należy zachować szczególną ostrożność ze względu na właściwości emitowanego promieniowania, charakteryzującego się znaczną gęstością mocy w porównaniu z promieniowaniem otrzymywanym ze źródeł klasycznych.

Zagrożenia wywołane przez urządzenia laserowe nie ograniczają się do promieniowania emitowanych wiązek laserowych. Z uwagi na konstrukcję i sposób pracy urządzeń laserowych należy również brać pod uwagę zagrożenia:

- elektryczne
- pochodzące od par i gazów (np. w chirurgii dymy powstające na skutek termicznego cięcia tkanek)
- pożarowe i wybuchowe (np. zapalenie się materiałów palnych na skutek oddziaływania promieniowania laserowego dużej mocy)
- promieniowaniem towarzyszącym (nielaserowym, np. zagrożenia promieniowaniem wysokiej częstotliwości lub rentgenowskim pochodzącym z laserów).

Wszystkie wymienione zagrożenia spowodowane są samym układem laserowym. Umiejscowienie układu laserowego ma bardzo ważne znaczenie z punktu widzenia efektywności pracy lasera, jak również bezpieczeństwa laserowego jest również zastosowanie odpowiednich blokad bezpieczeństwa oraz środków ochrony zbiorowej i indywidualnej, a także szkolenie pracowników. Szkolenie personelu obsługującego urządzenie laserowe powinno obejmować:

- zagadnienia związane ze skutkami biologicznymi oddziaływania promieniowania laserowego na oczy i skórę
- procedury eksploatacji urządzeń laserowych
- przestrzeganie sposobu właściwego użycia procedur kontroli zagrożenia, stosowanie się do znaków ostrzegawczych itp.
- procedury zgłaszania wypadku.

W pomieszczeniach, w których znajdują się urządzenia laserowe, mogące emitować nieosłonięte wiązki promieniowania, należy zapewnić:

- oświetlenie elektryczne o odpowiednio wysokim poziomie natężenia, gdyż w takich warunkach źrenice oczu są znacznie mniej rozszerzone niż w miejscach ciemnych i słabo oświetlonych – przy mniej rozszerzonej źrenicy mniej promieniowania laserowego



Rys. 2. Etykieta ostrzegawcza – znak zagrożenia (PN-EN 60825-1: 2000)

Fig. 2. Warning label – hazard symbol (PN-EN 60825-1: 2000)

może wnikać do oka, a tym samym skutki szkodliwe są też mniejsze

- matowe wykończenie ścian, aby uniknąć przypadkowych niebezpiecznych odbić zwierciadlanych

• odpowiednie zabezpieczenie okien (żaluzje, rolety, zasłony itp.), aby promieniowanie laserowe nie mogło przedostać się na zewnątrz pomieszczenia

- oznakowanie wejścia do miejsca, w którym pracuje laser tak, aby informować o potencjalnym zagrożeniu – wzór etykiety ostrzegawczej przedstawiono na rysunku 2.

W tabeli 3. wymieniono podstawowe wymagania i zalecenia dla użytkowników urządzeń laserowych.

W przypadku użytkowania laserów klasy 3B lub 4. norma 60825-1: 2000 nakazuje mianowanie w zakładzie inspektora do spraw bezpieczeństwa laserowego.

W przypadku laserów klasy 3R, 3B i 4. wymagane jest mianowanie inspektora do spraw bezpieczeństwa laserowego tylko wówczas, gdy lasery emitują promieniowanie niewidzialne. Utworzenie stanowiska inspektora nie jest wymagane w przypadku stosowania laserów klas 1, 1M, 2 i 2M. Zaleca się jednak, aby w przypadku zastosowań, kiedy możliwe jest bezpośrednie patrzenie w wiązkę promieniowania laserowego, stanowisko inspektora było obsadzone.

PIŚMIENICTWO

[1] Dyrektywa 2006/25/EU w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym)
 [2] 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 nr 217 poz. 1833; zm. DzU 2005 nr 221, poz. 1769
 [3] 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
 [4] A. Wolska *Promieniowanie laserowe w Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny* pod red. W. M. Zawieski. CIOP-PIB, Warszawa 2007
 [5] PN-EN 60825-1: 2000 *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych – Część 1: Klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika*
 [6] A. Wolska, P. Konieczny *Promieniowanie laserowe – skutki zdrowotne i aspekty bezpieczeństwa*. Prace Instytutu Elektrotechniki, z. 228(2006), s. 283-296

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy