

2. Źródła promieniowania optycznego

Promieniowanie optyczne jest czynnikiem powszechnie występującym w środowisku pracy i życia człowieka. Jest ono niezbędne człowiekowi do życia i prawidłowego funkcjonowania. Oprócz źródeł naturalnych, takich jak: Słońce, nieboskłon, gwiazdy, Księżyc itp., na człowieka oddziałuje promieniowanie wielu źródeł sztucznych. Trudno wyobrazić sobie zawód, który nie wiązałby się choć chwilowo, z narażeniem na sztuczne promieniowanie, przykładowo od oświetlenia elektrycznego czy monitorów komputerów. Poza ww. powszechnie występującymi źródłami nielaserowego promieniowania optycznego, promieniowanie może być wytwarzane celowo jako element konieczny do inicjowania pewnych procesów fotochemicznych (np. fotoutwardzanie, fotopolimeryzacja, fluorescencja, dezynfekcja) lub termicznych (np. podgrzewanie, suszenie) bądź jest niepożądanym produktem ubocznym procesów technologicznych (np. spawanie, wytapianie stali). Wśród źródeł promieniowania, które są wytwarzane celowo do określonych zastosowań praktycznych, można wyróżnić dwie podstawowe grupy: elektryczne promienniki nielaserowego promieniowania optycznego oraz urządzenia laserowe. Obie grupy promienników wytwarzają promieniowanie optyczne, jednak o znacznie różniących się własnościach, przez co ocenę zagrożenia tym promieniowaniem przeprowadza się w inny sposób.

Bez względu na fakt, czy promieniowanie wytwarzane jest celowo, czy też powstaje jako niepożądany efekt uboczny, konieczna jest kontrola narażenia na jego działanie [3].

Promieniowanie optyczne pochodzące od źródeł, które mogą stanowić o zagrożeniu dla zdrowia, występuje w szczególności w następujących gałęziach gospodarki:

- hutnictwo metali i szkła oraz odlewnictwo – piece hutnicze, obróbka plastyczna na gorąco,
- poligrafia – fotopolimeryzacja tuszu, suszenie tuszu, grawerowanie,
- przemysł chemiczny – stosowanie promienników UVA do wywoływania reakcji fotochemicznych, fotoutwardzanie, fotopolimeryzacja, suszenie farb, lakierów itp.,
- służba zdrowia – przychodnie i szpitale, gdzie wykorzystuje się różnego rodzaju promienniki elektryczne i lasery do biostymulacji i zabiegów chirurgicznych oraz lampy UVC do dezynfekcji,
- nauka – stosowanie różnych źródeł do badań, doświadczeń lub konstruowanie urządzeń laserowych lub innych z promiennikami elektrycznymi, justowanie urządzeń laserowych,
- elektronika – naświetlanie promieniowaniem UVC w kasownikach pamięci EPROM, naświetlanie promieniowaniem UVA półprzewodników i obwodów drukowanych, dezynfekcja,
- przetwórstwo przemysłowe – spawanie, dezynfekcja, sterylizacja, obróbka przemysłowa (metali, tworzyw sztucznych) z wykorzystaniem laserów,
- kosmetyka – salony kosmetyczne, gdzie stosuje się łóżka opalające, lasery kosmetyczne lub lampy biostymulacyjne,
- sztuka i rozrywka – aktorzy i widownia są narażeni na oświetlenie reflektorów punktowych, oświetlenie efektowe, lampy błyskowe,
- badania nieniszczące – obserwacja różnych materiałów z wykorzystaniem promieniowania UV i penetrantów fluorescencyjnych w diagnostykach laboratoryjnych i

medycznych, mineralogii, wykrywaniu przecieków i zanieczyszczeń, kontroli jakości i bezpieczeństwa oraz wielu innych.

2.1. Źródła nielaserowego promieniowania optycznego

Sztuczne źródła nielaserowego promieniowania optycznego to zarówno elektryczne źródła promieniowania optycznego jak i źródła technologiczne. Do źródeł technologicznych zalicza się, m.in.: łuk spawalniczy, palniki plazmowe i gazowe, otwory i ściany pieców topielnych, grzewczych, hartowniczych, paleniska, grzejniki.

W zależności od rozpatrywanego zakresu promieniowania optycznego wyróżnia się elektryczne źródła nadfioletu, światła i podczerwieni.

Elektryczne źródła nadfioletu mają różnorodne zastosowanie. Służą, m.in., do dezynfekcji (medycyna, przemysł farmaceutyczny, spożywczy, oczyszczalnie ścieków i wody, salony kosmetyczne itd.), suszenia (lakiernie i farbiarnie – przemysł chemiczny, poligraficzny i meblarski), fototerapii (medycyna, kosmetyka), utwardzania i kopiowania (poligrafia, przemysł chemiczny). Do elektrycznych źródeł nadfioletu zalicza się:

- świetlówki UV (bakteriobójcze, UVA, superaktywnicne, dermatologiczne, solaryjne itp.),
- lampy deuterowe,
- lampy Wooda,
- lampy rtęciowe UV średnioprężne i wysokoprężne,
- metalohalogenkowe promienniki UV,
- lampy kwarcowe,
- lampy ksenonowe, halogenowe i inne.

Elektryczne źródła światła są stosowane do oświetlania wnętrz, dróg, parków, placów, obiektów architektonicznych itd. Do elektrycznych źródeł światła zalicza się:

- żarówki głównego szeregu i halogenowe,
- świetlówki do celów oświetleniowych,
- lampy rtęciowe wysokoprężne,
- lampy rtęciowo-żarowe,
- lampy metalohalogenkowe,
- lampy sodowe niskoprężne,
- lampy sodowe wysokoprężne,
- lampy ksenonowe,
- lampy indukcyjne.

Elektryczne źródła podczerwieni są stosowane w lakierniach i farbiarniach do suszenia lakieru, w przemyśle spożywczym, gastronomii, w hodowli zwierząt, w urządzeniach terapeutycznych itd. Do elektrycznych źródeł podczerwieni zalicza się:

- żarówki głównego szeregu, halogenowe i żarówki IR,
- lampy ksenonowe,
- lampy halogenowe i inne.

Można zauważyć, że większość z tych źródeł emituje w szerokim zakresie promieniowania optycznego wykraczającego poza jeden jego podzakres.

Przykłady różnych zastosowań poszczególnych podzakresów promieniowania optycznego zawiera pełna wersja poradnika, wydana przez CIOP-PIB w 2013 r.

Szczególnymi źródłami promieniowania optycznego występującymi na stanowiskach pracy są źródła technologiczne, takie jak łuk spawalniczy, płomień gazowy, rozgrzane do wysokiej temperatury piece, roztopione metale czy szkło.

Największe wartości poziomu promieniowania nadfioletowego i widzialnego są emitowane podczas spawania łukowego i zależą od techniki i parametrów spawania. Jednak można stwierdzić, że przy tych źródłach poziomy ekspozycji oczu i skóry na promieniowanie nadfioletowe są wielokrotnie wyższe od ustalonych wartości MDE. Również poziomy ekspozycji oczu światłem niebieskim są zwykle przekraczane wielokrotnie. Bywają też sytuacje, kiedy stwierdza się zagrożenie termiczne siatkówki oka promieniowaniem łuku spawalniczego.

W przypadku spawania gazowego wartości mierzonych poziomów ekspozycji są znacznie mniejsze i zazwyczaj nie dochodzi do przekroczenia wartości MDE oczu promieniowaniem nadfioletowym czy widzialnym.

Na „gorących” stanowiskach pracy, na których pracownicy są narażeni na promieniowanie od źródeł temperaturowych, jak: rozgrzany płynny metal, szkło czy piec hutniczy, zasadniczy wpływ na poziom ekspozycji ma temperatura danego źródła i odległość przebywania pracownika od źródła. Im wyższa temperatura źródła, tym wyższe poziomy promieniowania. W zależności od jednorazowego czasu wykonywania czynności (przebywania przy źródle) zmieniają się wartości MDE przy zagrożeniu termicznym, wobec czego nawet wysoki poziom promieniowania może być znacznie poniżej wartości MDE przy pewnych krótkich czasach ekspozycji, ale gdy czynność ta byłaby wykonywana dłużej, wówczas może się okazać, że wartość MDE jest przekroczona.

Przykłady poziomów promieniowania i ekspozycji dla tego rodzaju stanowisk pracy przedstawiono w załączniku 2 pełnej wersji poradnika wydanej przez CIOP-PIB w 2013 r.

2.2. Źródła promieniowania laserowego

Laser (akronim pierwszych liter angielskiej nazwy: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) jest to urządzenie wytwarzające spójną wiązkę promieniowania elektromagnetycznego z zakresu widma od nadfioletu do dalekiej podczerwieni. Podstawą działania lasera jest emisja wymuszona kwantów energii w ośrodku wzmacniającym (nazywanym również substancją laserującą lub ośrodkiem optycznie czynnym) [2]. Działanie lasera polega na wzbudzeniu ośrodka optycznie czynnego, a następnie wyzwoleniu energii w postaci kwantu promieniowania spójnego. Ośrodek wzmacniający jest to odpowiednio dobrane ciało stałe, gaz lub ciecz, w którym na skutek dostarczania energii (pompowania) jest inicjowana akcja laserowa. Dzięki zastosowaniu w laserze rezonatora, wzmocnieniu ulega promieniowanie w bardzo wąskim przedziale widma kosztem pozostałego zakresu i dlatego cechą wyróżniającą laser wśród innych klasycznych źródeł promieniowania optycznego jest o wiele rzędów wyższa widmowa gęstość promieniowania. W odróżnieniu od klasycznych źródeł promieniowania laser promieniuje kierunkowo, a kąt rozbieżności wiązki zwykle nie przekracza kilku miliradianów [1]. 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. Można stwierdzić, że **laser jest jakościowo innym źródłem promieniowania optycznego w porównaniu ze źródłami klasycznymi**. Zagrożenie dla zdrowia, jakie niesie ze sobą przypadkowa ekspozycja na to promieniowanie (zwłaszcza oczu), jest większe niż w przypadku źródeł konwencjonalnych.

Lasery można grupować wg ich różnych cech, jak np. ośrodek czynny czy rodzaj pracy. Ośrodki czynne mogą być stałe, cieczone lub gazowe. Lasery mogą być układami o działaniu ciągłym (CW) lub impulsowym (P), a te ostatnie z repetycją impulsów [1]. Ogólnie można przyjąć, że **im krótszy jest**

impuls promieniowania laserowego, tym większe jest potencjalne zagrożenie dla zdrowia przy ekspozycji na to promieniowanie. Najczęściej stosowanym i najbardziej ogólnym kryterium podziału laserów jest stan skupienia ośrodków czynnych. Tak więc chodzi tu o lasery stałe (z wyodrębnieniem półprzewodnikowych), cieczowe i gazowe.

Wraz z rozwojem laserów rozwijał się zakres ich praktycznego zastosowania. Początkowo lasery zamierzano wykorzystywać w celach wojskowych. W miarę wzrostu zapotrzebowania na nowe technologie lasery znajdują zastosowania w każdej gałęzi przemysłu, jak również w medycynie (do destrukcji lub usuwania tkanek, chirurgii czy do biostymulacji komórek), wojsku, ochronie środowiska (pomiar poziomu skażenia atmosfery), metrologii, kosmetyce, światłowodach (łącza telekomunikacyjne), cyfrowym zapisie danych i dźwięku czy w widowiskach artystycznych [2].

W pełnej wersji poradnika wydanego przez CIOP-PIB w 2013 r. przedstawiono przykłady typowych laserów, ich długości fali, rodzaju pracy i zastosowań praktycznych.

2.3. Źródła nieistotne

Pojęcie źródeł nieistotnych pojawiło się w przewodniku UE pt. *Niewiążący przewodnik dobrej praktyki wdrażania dyrektywy 2006/25/WE (sztuczne promieniowanie optyczne)* [3], opracowanym na zlecenie Komisji Europejskiej. Pojęcie źródeł nieistotnych obejmuje dwie grupy:

- źródła nieistotne ze względu na wytwarzane przez nie nieznaczne emisje,
- źródła nieistotne ze względu na emisje, które nie stanowią zagrożenia przy normalnym stosowaniu tych źródeł (ewentualne nadmierne narażenie może wystąpić tylko w wyjątkowych okolicznościach).

Przykłady źródeł nieistotnych z obu ww. grup, podane w przewodniku UE [3], zestawiono w ramce i tabeli 2.3.

Źródła nieistotne ze względu na wytwarzane przez nie emisje (na podstawie [3])

Oprawy świetlówkowe z kloszem rozpraszającym montowane na suficie

Oprawy ze świetlówkami kompaktowymi montowane na suficie

Oświetlenie punktowe żarówkami halogenowymi montowanymi na suficie

Oprawy żarówkowe montowane na suficie

Oprawy oświetlenia miejscowego z żarówkami

Naświetlacze ze świetlówkami kompaktowymi

Monitor komputera lub inne urządzenie z wyświetlaczem ekranowym

Pułapki na owady wykorzystujące promieniowanie UVA (popularnie te urządzenia nazywa się lampami owadobójczymi)

Fotokopiarki

Urządzenie do prezentacji wykorzystujące tablicę interaktywną

Diody sygnalizacyjne / wskaźnikowe

Palmtopy (komputery kieszonkowe)

Światła: postojowe, światła hamowania, cofania i przeciwmgłowe

Fotograficzne lampy błyskowe

Podwieszane promienniki gazowe

Tabela 2.3. Źródła nieistotne ze względu na emisje, które nie stanowią zagrożenia w normalnym stosowaniu tych źródeł (na podstawie [3])

Oprawy świetlówkowe bez kloszy rozpraszających montowane na suficie	bezpieczne przy normalnym roboczym poziomie natężenia oświetlenia nieprzekraczającym ok. 600 lx
Naświetlacze z lampami metalohalogenkowymi / wysokoprężnymi lampami rtęciowymi	bezpieczne, jeśli przednia osłona szklana jest nienaruszona i jeżeli nie znajdują się na linii wzroku
Projektory (rzutniki projekcyjne)	bezpieczne, jeżeli nie patrzy się w wiązkę
Niskoprężne lampy Wooda (świetlówki z czarnym luminoforem emitujące promieniowanie UVA)	bezpieczne, jeżeli nie znajdują się na linii wzroku
Każdy laser klasy 1	bezpieczne, jeżeli osłony są nienaruszone
Lasery klasy 1M, 2, 2M i 3R	bezpieczne, jeżeli pracują w warunkach określonych przez producenta urządzenia i jeśli patrzy się w wiązkę
Każdy produkt: lampa lub system lampowy, który został zaklasyfikowany do grupy wolnej od ryzyka zgodnie z normą PN-EN 62471	bezpieczne, jeśli nie znajduje się na linii wzroku; może nie być bezpieczne, jeśli usunie się osłony
Reflektory samochodowe	bezpieczne, jeśli unika się długiego bezpośredniego patrzenia w wiązkę

Uwaga:

Więcej informacji na omawiany w tym rozdziale temat można znaleźć w pełnej wersji poradnika wydanej przez CIOP-PIB w 2013 r.

Literatura

1. Józwicki R.: *Optyka laserów*. Warszawa, WNT 1981.
2. Wolska A., Konieczny P.: *Opracowanie i budowa stanowiska badania parametrów promieniowania laserowego dla potrzeb oceny zagrożenia tym promieniowaniem*. Sprawozdanie z realizacji zadania. Etap 1. pt. Analiza zagrożeń promieniowaniem laserowym oraz kryteriów oceny zagrożenia tym promieniowaniem. Warszawa, CIOP-PIB 2005 [Praca nieopublikowana].
3. Komisja Europejska: *Niewiążący przewodnik dobrej praktyki wdrażania dyrektywy 2006/25/WE (sztuczne promieniowanie optyczne)*.
<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=738&langId=en&pubId=5926&type=2&furtherPubs=no>
4. *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 2010, nr 100, poz. 643; zm. 2012, poz. 787.
5. PN-EN 62471: 2010. *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*.
6. PN-EN 60825-1: 2010. *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych – Cz. 1: Klasyfikacja sprzętu i wymagania*.