

Agnieszka Wolska

Sztuczne promieniowanie optyczne – zasady oceny ryzyka zawodowego

Poradnik

CIOP  PIB

Warszawa 2013

Opracowano i wydano w ramach II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2011-2013) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor

dr inż. Agnieszka Wolska – Zakład Techniki Bezpieczeństwa CIOP-PIB

Projekt okładki

Jolanta Maj

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2013

ISBN 978-83-7373-154-7

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

1. Wprowadzenie	7
2. Źródła promieniowania optycznego	10
2.1. Źródła nielaserowego promieniowania optycznego.....	11
2.2. Źródła promieniowania laserowego	14
2.3. Źródła nieistotne	16
Literatura	18
3. Klasyfikacje bezpieczeństwa źródeł promieniowania optycznego	19
3.1. Klasyfikacja bezpieczeństwa laserów.....	19
3.2. Klasyfikacja bezpieczeństwa lamp i systemów lampowych.....	22
3.3. Klasyfikacja bezpieczeństwa maszyn	24
Literatura	25
4. Stan prawny	26
4.1. Uwagi wstępne	26
4.2. Rozporządzenie w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne	28
4.2.1. Wyznaczanie poziomu ekspozycji.....	29
4.2.1.1. Sposób ustalania poziomu ekspozycji	29
4.2.1.2. Powtarzanie wyznaczania poziomu ekspozycji	30
4.2.1.3. Kiedy nie ma potrzeby określania poziomu promieniowania	31
4.2.2. Ocena ryzyka zawodowego	33
4.2.2.1. Określenie poziomu ekspozycji i wartości MDE	37
4.2.2.2. Grupy szczególnego ryzyka	38
4.2.2.3. Współwystępowanie w środowisku pracy promieniowania optycznego i fotouczulających substancji chemicznych.....	39
4.2.2.4. Skutki pośrednie mające wpływ na bezpieczeństwo pracowników	40
4.2.2.5. Klasa lasera lub podobna klasyfikacja źródeł promieniowania, mogących spowodować zagrożenia porównywalne z laserem klasy 3B i 4.....	41
4.2.3. Unikanie lub ograniczanie ryzyka zawodowego	41
4.2.3.1. Program działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu wartości MDE	42

4.2.3.2. Oznakowanie miejsca pracy znakami bezpieczeństwa	43
4.2.3.3. Działania w razie przekroczeń MDE.....	44
4.2.4. Informowanie i szkolenie pracowników	44
4.2.5. Współpraca pracodawcy z lekarzem sprawującym profilaktyczną opiekę medyczną	45
4.2.5.1. Przekazywanie informacji lekarzowi.....	45
4.2.5.2. Reagowanie na informacje uzyskane od lekarza	45
4.3. Rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.....	45
4.4. Rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy	46
4.5. Rozporządzenie w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy	47
4.6. Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionym młodocianym	48
4.7. Rozporządzenie w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet.....	48
4.8. Rozporządzenie w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy	49
Literatura	49
5. Zarządzanie ryzykiem	52
5.1. Krok 1. Identyfikacja źródeł promieniowania i osób narażonych	52
5.2. Krok 2. Szacowanie ryzyka i wyznaczanie jego dopuszczalności	53
5.3. Krok 3. Wybór działań ograniczających ryzyko	55
5.4. Krok 4. Podjęcie działań	58
5.5. Krok 5. Monitorowanie i dokonywanie przeglądów	58
Literatura.....	59
6. Wyznaczanie wartości MDE	61
6.1. Nielaserowe promieniowanie optyczne	61
6.1.1. Rodzaje rozpatrywanych zagrożeń dla zdrowia	61
6.1.2. Wyznaczanie kąta widzenia źródła promieniowania (α)	64
6.1.3. Wyznaczanie wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE).....	66
6.1.3.1. Zagrożenie fotochemiczne oczu i skóry nadfioletem (aktyniczne).....	66
6.1.3.2. Zagrożenie fotochemiczne oczu (soczewki) promieniowaniem UVA.....	68
6.1.3.3. Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka	69
6.1.3.4. Zagrożenie termiczne siatkówki oka.....	73
6.1.3.5. Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka	78
6.1.3.6. Zagrożenie termiczne skóry	79
6.2. Promieniowanie laserowe	81

6.2.1. Wartości MDE oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 180 ÷ 400 nm	83
6.2.2. Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 400 ÷ 1 400 nm	84
6.2.3. Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 1 400 nm ÷ 1 mm	86
6.2.4. Wyznaczanie wartości MDE a klasyfikacja laserów	87
Literatura.....	88

7. Wyznaczanie poziomu ekspozycji90

7.1. Kryteria oceny zagrożenia uwzględniane przy wyznaczaniu poziomów ekspozycji na promieniowanie optyczne	90
7.1.1. Nielaserowe promieniowanie optyczne	91
7.1.1.1. Nielaserowe promieniowanie nadfioletowe	91
7.1.1.2. Nielaserowe promieniowanie widzialne i podczerwone	93
7.1.1.3. Nielaserowe promieniowanie podczerwone	96
7.1.2. Promieniowanie laserowe	98
7.2. Wyznaczanie luminancji energetycznej na podstawie pomiaru natężenia napromienienia	99
7.3. Przeliczanie natężenia napromienienia przy różnych odległościach od źródła	100
Literatura.....	103

Załączniki

1. Przykłady wyznaczonych grup ryzyka dla typowych elektrycznych źródeł promieniowania optycznego	105
2. Przykłady oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym	113
2a. Przykłady oceny zagrożenia przy ekspozycji na wybrane elektryczne źródła promieniowania	115
2b. Przykłady oceny zagrożenia na wybranych stanowiskach pracy w przemyśle	119
3. Słowniczek	163
Literatura	169

1. Wprowadzenie

Wymagania *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)* odnoszą się zarówno do promieniowania optycznego nielaserowego jak i laserowego.

W Polsce wymagania ww. dyrektywy implementuje kilka rozporządzeń, a ich zapisy również uszczegółwiają wymagania dyrektywy. Dokładne omówienie obowiązującego w Polsce stanu prawnego dotyczącego zagadnień związanych z ekspozycją zawodową na sztuczne promieniowanie optyczne przedstawiono w rozdziale 4. niniejszego poradnika. W treści poradnika zastosowano bezpośrednio odwołania do rozporządzeń, które implementują tę dyrektywę w polskim prawodawstwie.

Uwzględniając fakt, że promieniowanie optyczne może powodować skutki szkodliwe dla zdrowia, za konieczne należy uznać identyfikowanie źródeł promieniowania na stanowiskach pracy oraz dokonywanie oceny ryzyka zawodowego. Dotyczy to źródeł, które mogą stanowić o szkodliwości dla zdrowia. Praktycznie wszyscy pracownicy są narażeni na sztuczne promieniowanie optyczne, pochodzące m.in. od opraw oświetleniowych, monitorów ekranowych, wyświetlaczy telefonów komórkowych czy wyświetlaczy i lampek kontrolnych urządzeń i maszyn. Wiele z ww. źródeł stanowi nieistotne zagrożenie dla zdrowia człowieka i nie ma uzasadnionej potrzeby przeprowadzania dla nich oceny poziomu ekspozycji. Jak stwierdzić, które źródła tego wymagają, a które nie? Dokonanie oceny ryzyka związanego z promieniowaniem optycznym często nie jest sprawą prostą dla osoby początkującej, gdyż wymaga to zmierzenia się z nowymi pojęciami, wzorami matematycznymi i kryteriami, które wydają się zbyt trudne na pierwszy rzut oka. Jak przybliżyć sposób oceny ryzyka związanego z promieniowaniem optycznym?

Niniejszy poradnik opracowano przede wszystkim na potrzeby pracodawców i służb bhp, lecz może on także stanowić wsparcie merytoryczne dla organów nadzoru.

Celem poradnika jest przedstawienie informacji ułatwiających:

- interpretację zapisów aktów prawnych wdrażających dyrektywę 2006/25/WE w Polsce,
- identyfikację źródeł promieniowania optycznego mogących stanowić o zagrożeniu dla zdrowia,
- wyznaczanie wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE),
- wyznaczanie poziomu promieniowania i ekspozycji na promieniowanie optyczne,
- właściwe przeprowadzenie oceny ryzyka zawodowego.

Ważne

- **Badania i pomiary poziomu promieniowania i ekspozycji mogą wykonywać uprawnione do tego jednostki, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.**
- Dysponując wynikami poziomu promieniowania lub ekspozycji **pracodawca może samodzielnie dokonać oceny ryzyka**, korzystając z niniejszego poradnika.

W poradniku przedstawiono przykłady obliczeń poziomów ekspozycji i oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym na typowych stanowiskach pracy, na których występuje narażenie na promieniowanie optyczne, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł technologicznych (spawanie, „gorące” stanowiska pracy). Opisano sposób wyznaczania: krotności MDE, dozwolonego czasu ekspozycji, parametrów geometrycznych niezbędnych do wyznaczania MDE i poziomu ekspozycji; przeliczania stopni na radiany oraz wyznaczania luminancji energetycznej na podstawie natężenia napromienienia. Przedstawiono również sposób korzystania z fotometrycznego prawa odległości.

Poradnik nie wyczerpuje wszystkich przypadków narażenia na promieniowanie optyczne i źródeł, które mogą występować na stanowiskach pracy. Przedstawione przykłady mogą służyć jako pomoc przy samodzielnej ocenie ryzyka i wskazać sytuacje, kiedy jest konieczne zlecenie badań i pomiarów.

Jak korzystać z poradnika?

W poszczególnych rozdziałach poradnika zostały omówione różne zagadnienia. Rozdziały mogą być czytane osobno i w dowolnej kolejności. Jeśli materiał w danym rozdziale wymaga korzystania z informacji zawartych w innym rozdziale, w tekście są zamieszczone odpowiednie powołania.

Poradnik obejmuje zagadnienia dotyczące:

- źródeł promieniowania optycznego, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł nieistotnych i klasyfikacji bezpieczeństwa źródeł,
- stanu prawnego w Polsce związanego z ekspozycją na promieniowanie optyczne,
- wyznaczania wartości MDE i poziomu ekspozycji,
- kolejności i zakresu działań wchodzących w skład zarządzania ryzykiem,
- środków profilaktyki, które mogą być stosowane w celu ograniczenia poziomu ekspozycji.

Ważne

- 1) Wszyscy pracodawcy powinni zapoznać się z rozdziałem dotyczącym źródeł promieniowania optycznego i rozdziałem dotyczącym omówienia stanu prawnego w Polsce.
- 2) Jeśli w danym przedsiębiorstwie występują tylko **źródła nieistotne lub źródła, dla których nie ma potrzeby wyznaczania poziomu ekspozycji**, zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne*, wówczas **nie ma potrzeby podejmowania dalszych działań**.
- 3) Jeśli w danym przedsiębiorstwie występują inne źródła niż wymienione w pkt 2), wówczas ocena ryzyka jest bardziej złożona, a pracodawca powinien zapoznać się z pozostałymi rozdziałami poradnika.

Podziękowania

Wyniki badań i pomiarów wykorzystane w poradniku są rezultatem realizacji zadania: „Opracowanie poradnika dla pracodawców dla potrzeb oceny ryzyka zawodowego związanego ze sztucznym promieniowaniem optycznym, uwzględniającego wymagania dyrektywy 2006/25/WE”.

Serdecznie dziękuję mgr inż. Agacie Latale za istotną pomoc w przeprowadzeniu pomiarów i ich opracowaniu oraz mgr. inż. Andrzejowi Pawlakowi za cenną współpracę przy wykonywaniu badań i ocenie zagrożenia na stanowiskach pracy.

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 widzowie są narażeni na oświetlenie reflektorów punktowych, oświetlenie efektowe, lampy błyskowe,
- badania nieniszczące – obserwacja różnych materiałów z wykorzystaniem promieniowania UV i penetrantów fluorescencyjnych w diagnostyce 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, superaktywnicze, 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 przedstawiono w tabeli 2.1. Niektóre z zakresów widma, wymienionych jako efekt niepożądany, mogą być wytworzone przypadkowo, np. jedynie w czasie awarii. Dotyczy to np. projektorów iluminacyjnych, w których jest zainstalowana wysokoprężna lampa rtęciowa wytwarzająca promieniowanie ze wszystkich zakresów widma. Lampa jest zazwyczaj zamknięta w bańce zewnętrznej, która zatrzymuje znaczną część emisji UVB i UVC. W przypadku rozbicia bańki i dalszego funkcjonowania lampy, emitowane może być promieniowanie stwarzające zagrożenie [3].

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 mogłoby się okazać, że wartość MDE jest przekroczona. Przykłady poziomów promieniowania i ekspozycji dla tego rodzaju stanowisk pracy przedstawiono w załączniku 2.

Tabela 2.1. Przykłady celowego zastosowania poszczególnych zakresów promieniowania optycznego i jego występowania jako efekt niepożądany (na podstawie [3])

Zakres promieniowania	Przykłady celowego zastosowania	Efekt niepożądany – wytwarzany przy:
UVC	<ul style="list-style-type: none"> – dezynsekcja powierzchni, wody i powietrza (działanie bakterio-bójcze) – fluorescencja (diagnostyka laboratoryjna) – fotolitografia – kasowniki pamięci EPROM 	<ul style="list-style-type: none"> – spawaniu łukowym – utwardzaniu tuszu – lampach projekcyjnych (sytuacja awaryjna) – niektórych urządzeniach oświetlenia ogólnego i miejscowego
UVB	<ul style="list-style-type: none"> – łóżka opalające – lampy dermatologiczne stosowane w fototerapii – fluorescencja (diagnostyka laboratoryjna) – fotolitografia 	<ul style="list-style-type: none"> – spawaniu łukowym – utwardzaniu tuszu – lampach projekcyjnych (sytuacja awaryjna) – lampach bakterio-bójczych – niektórych urządzeniach oświetlenia ogólnego i miejscowego
UVA	<ul style="list-style-type: none"> – fluorescencja (diagnostyka laboratoryjna, badania defektoskopowe, efekty specjalne w rozrywce, oznakowanie własności) – fototerapia – łóżka opalające – utwardzanie tuszu – pułapki na owady – testery banknotów – fotolitografia 	<ul style="list-style-type: none"> – spawaniu – utwardzaniu tuszu – lampach projekcyjnych – lampach bakterio-bójczych – oświetleniu ogólnym miejscowym
VIS	<ul style="list-style-type: none"> – oświetlenie ogólne i miejscowe – lampki kontrolne – sygnalizacja świetlna – utwardzanie tuszu – fotokopiowanie – fotolitografia – fototerapia – usuwanie owłosienia i popękanych naczynek – ekrany telewizorów i komputerów 	<ul style="list-style-type: none"> – łóżkach opalających – spawaniu – niektórych urządzeniach grzewczych
IRA	<ul style="list-style-type: none"> – ogrzewanie – suszenie – usuwanie owłosienia i popękanych naczynek – fototerapia – komunikacja bezprzewodowa 	<ul style="list-style-type: none"> – niektórych urządzeniach oświetlenia ogólnego i miejscowego – spawaniu
IRB	<ul style="list-style-type: none"> – ogrzewanie – suszenie – komunikacja bezprzewodowa 	
IRC	<ul style="list-style-type: none"> – ogrzewanie – suszenie 	

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 dostarczenia 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, ciekłowe 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), ciekłowe i gazowe (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Podział laserów ze względu na stan skupienia ośrodka optycznie czynnego [2]

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 zastosowanie 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 tabeli 2.2 przedstawiono przykłady typowych laserów, ich długości fali, rodzaju pracy i zastosowań praktycznych.

Tabela 2.2. Zestawienie przykładowych zastosowań wybranych laserów (na podstawie [2])

Rodzaj ośrodka czynnego	Typ lasera	Długość fali, nm	Rodzaj pracy, czas trwania impulsu	Przykładowe zastosowanie
Ciało stałe	rubinowy na kryształach $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$	694,3	impulsowa, od kilku do kilkunastu μs	spawanie, topienie, wiercenie, stomatologia, impulsowa holografia, biologia, pomiar odległości
	neodymowy na kryształach $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$	1 064,8 1 300, 1 400	ciągła lub impulsowa od kilku ps do kilkunastu ms	telekomunikacja, laserowe układy śledzące, kontrolowane reakcje jądrowe, chirurgia, mikroobróbka, cięcie, pomiar odległości
	neodymowy na szkło Nd: szkło	1 050 ÷ 1 060	ciągła lub impulsowa	wzmacniacz optyczny do uzyskiwania impulsów o mocach GW, inicjowanie kontrolowanej reakcji termojądrowej, cięcie, mikrosynteza
	erbowy na szkło Er:szkło	1 540	impulsowy	pomiar odległości bezpieczny dla oka
	erbowy na kryształach Er:YAG	2 940	impulsowy	medycyna, badania biomedyczne
	tytanowy na kryształach $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$	przestrajalna: 665 ÷ 1 130	ciągła lub impulsowa od kilku fs	do określania poziomu skażenia atmosfery (system LIDAR), separacja izotopów, badania biomedyczne
Półprzewodnik	galnAsP, GaAs, AlGaAs	800 ÷ 1 600	ciągła lub impulsowa	telekomunikacja światłowodowa, geodezja, poligrafia (pośrednio jako pompa do nacinania matryc), nagrywanie i odczytywanie płyt CD i DVD, biostymulacja
Gaz	He-Ne (laser gazowy atomowy)	632,8	ciągła	metrologia, holografia, interferometria
	Ne-Cu (laser na parach miedzi – gazowy jonowy)	510,6 i 578,2	impulsowa	precyzyjna obróbka materiałów, dermatologia
	azotowy N_2 (laser gazowy atomowy)	337,1	impulsowa 10 ns	spektroskopia, reakcje fotochemiczne
	CO_2 (laser gazowy molekularny)	najczęściej 10 600	ciągła lub impulsowa	obróbka materiałów, cięcie, spawanie, chirurgia, stomatologia, laserowe układy śledzące, kontrolowane reakcje jądrowe, rozdzielanie izotopów
	excimerowy (lasery gazowe jonowe) KrCl, ArF, KrF XeCl, XeF	157, 193, 248, 308, 351	impulsowa	chirurgia (okulistyka, kardiochirurgia), mechanika precyzyjna, znakowanie, wykonywanie otworów
Ciecz	barwnikowe	300 ÷ 1 800 1 100 ÷ 1 600	ciągła lub impulsowa	spektroskopia, medycyna, fotochemia

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).

Ważne

Stwierdzenie, że dane źródło można zaliczyć do źródeł nieistotnych, pozwala na odstępianie od wyznaczania poziomu ekspozycji i dalszej oceny ryzyka zawodowego, gdyż można przyjąć, że źródło to jest „bezpieczne”.

Uwaga

- Przy określaniu źródeł nieistotnych należy uwzględnić zapisy *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne* [4], które definiuje cztery przypadki ogólne, kiedy można odstąpić od określania poziomu promieniowania i ekspozycji, a mianowicie:

- 1) jeśli lampy użytkowane w oświetleniu ogólnym są zainstalowane w przeznaczonych dla nich oprawach oświetleniowych oraz znajdują się w odpowiedniej odległości od eksponowanych części ciała pracownika, lub
- 2) jeśli lampy lub systemy lampowe są zaklasyfikowane do grupy wolnej od ryzyka zgodnie z Polską Normą PN-EN 62471 [5], lub
- 3) jeśli lasery są zaliczone, zgodnie z Polską Normą PN-EN 60825-1 [6], do klasy 1, 1M, 2, 2M lub 3R i pracują w warunkach określonych przez producenta urządzenia, lub
- 4) jeśli lasery są zaliczone, zgodnie z Polską Normą PN-EN 60825-1 [6], do klasy 3B lub 4 i zostały do nich zastosowane środki ochrony zbiorowej, pozwalające na zaklasyfikowanie urządzenia do klasy 1.

Przedstawione w ww. punktach przypadki w praktyce oznaczają, że chodzi właśnie o źródła nieistotne.

- Uwzględniając fakt, że nie zawsze można stwierdzić bez wyznaczania poziomu ekspozycji, czy dane źródło można zaliczyć do nieistotnych, w rozporządzeniu [4] przyjęto, że nie rozpatruje się promieniowania optycznego jako czynnika szkodliwego, gdy poziom ekspozycji **nie przekracza 0,4 wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE)**, a ekspozycja nie dotyczy pracowników należących do grup szczególnego ryzyka.

Ważne

Jeśli warunki podane przy określaniu źródeł nieistotnych nie są spełnione (np. dany laser pracuje w warunkach odbiegających od zaleceń producenta lub zachodzą inne przypadki, przedstawione w rozdziale 4.2.1), pracodawca powinien określić poziom ekspozycji i dokonać oceny ryzyka.

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 świetłówkowe z kloszem rozpraszającym montowane na suficie
Oprawy ze świetłówkami kompaktowymi montowane na suficie
Oświetlenie punktowe żarówkami halogenowymi montowanymi na suficie
Oprawy żarówkowe montowane na suficie
Oprawy oświetlenia miejscowego z żarówkami
Naświetlacze ze świetłówkami 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
Oświetlenie uliczne

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

Oprawy świetłówkowe 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 (świetłówki 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

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*.

3. Klasyfikacje bezpieczeństwa źródeł promieniowania optycznego

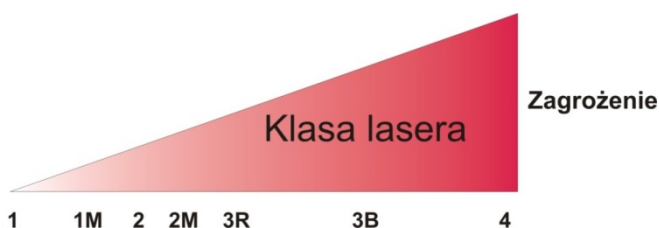
Dyrektywa 2006/25/WE i transponujące ją do prawa polskiego *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne* wskazują na możliwość skorzystania z danych dostarczonych przez producenta źródła przy ocenie poziomu promieniowania i określeniu środków bezpieczeństwa. Wynika to z faktu, że poszczególne źródła promieniowania mogą się znacząco różnić pod względem stopnia i rodzaju potencjalnych zagrożeń biologicznych, jakie się z nimi wiążą. Z tego powodu została wprowadzona klasyfikacja bezpieczeństwa urządzeń laserowych, lamp i systemów lampowych oraz maszyn emitujących nielaserowe promieniowanie optyczne. Klasyfikacja ta może być bardzo przydatna w przeprowadzaniu oceny ryzyka.

Uwaga

- Systemy klasyfikacji bezpieczeństwa źródeł promieniowania optycznego określają potencjalne ryzyko wystąpienia skutków szkodliwych dla zdrowia.
- W zależności od warunków stosowania danego źródła (o przypisanej mu klasie bezpieczeństwa) i czasu narażenia na jego promieniowanie mogą wystąpić skutki szkodliwe dla zdrowia. Dzięki klasyfikacji użytkownicy mogą dobrać odpowiednie środki ograniczające ryzyko.

3.1. Klasyfikacja bezpieczeństwa laserów

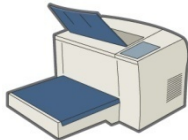
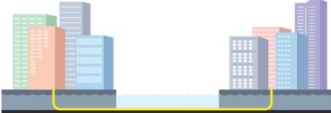
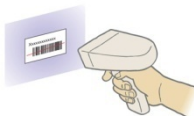

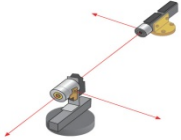


Klasyfikacja laserów opiera się na granicy emisji dostępnej (GED), tj. maksymalnego poziomu promieniowania emitowanego z lasera, dozwolonego w obrębie danej klasy laserów. Wartości GED są odniesione do długości fali promieniowania laserowego i czasu trwania ekspozycji. Wartości GED dla danej klasy lasera podane są w normie PN-EN 60825-1:2010 [3]. Sklasyfikowanie lasera lub urządzenia laserowego oraz jego oznaczenie jest obowiązkiem producenta, a nie użytkownika.



Im wyższa klasa lasera, tym większe zagrożenie. Poszczególnym klasom lasera odpowiadają określone wymagania odnośnie do stosowania środków ochrony (tabela 3.2).

Klasa lasera daje użytkownikowi informację o skali zagrożeń związanych z jego użytkowaniem. Lasery dzieli się na siedem klas: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4, a każdej z klas odpowiada opis umożliwiający jej zidentyfikowanie (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Podział laserów i urządzeń laserowych na klasy (na podstawie [1])

Klasa	Określenie zagrożeń związanych z użytkowaniem	Przykładowe urządzenia ^{*)}
1	Lasery emitujące promieniowanie widzialne lub niewidzialne uznane za bezpieczne w racjonalnie przewidywalnych warunkach pracy, także w przypadku patrzenia w wiązkę przez przyrządy optyczne	<ul style="list-style-type: none"> – drukarki laserowe – odtwarzacze i nagrywarki płyt CD i DVD – urządzenia do analizy laboratoryjnej 
1M	Lasery emitujące promieniowanie widzialne lub niewidzialne , które są bezpieczne w racjonalnie przewidywalnych warunkach pracy, ale mogą stanowić zagrożenie, jeśli użytkownik wprowadzi elementy optyczne w tor wiązki	<ul style="list-style-type: none"> – światłowodowe systemy komunikacji 
2	Lasery emitujące promieniowanie widzialne , gdzie ochrona oka jest w naturalny sposób zapewniona przez reakcje awersyjne oka. Można się spodziewać, że ta reakcja zapewni odpowiednią ochronę w racjonalnie przewidywalnych warunkach pracy, także w przypadku patrzenia w wiązkę przez przyrządy optyczne	<ul style="list-style-type: none"> – skanery kodów paskowych – wskaźniki laserowe o mocy do 1 mW 
2M	Lasery emitujące promieniowanie widzialne , gdzie ochrona oka jest w naturalny sposób zapewniona przez reakcje awersyjne, włącznie z odruchem mrugania. Jednak patrzenie w wiązkę promieniowania może stanowić zagrożenie, jeśli użytkownik wprowadzi elementy optyczne w tor wiązki	<ul style="list-style-type: none"> – poziomice stosowane w inżynierii lądowej 
3R	Lasery emitujące promieniowanie widzialne lub niewidzialne potencjalnie zagrażające przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę, jednak z mniejszym ryzykiem niż lasery klasy 3B oraz mniej licznymi wymaganiami dotyczącymi produkcji i środków kontroli przez użytkownika, niż dla laserów klasy 3B	<ul style="list-style-type: none"> – wskaźniki laserowe o mocy powyżej 1 mW do 5 mW – urządzenia geodezyjne – lasery do justowania wiązki 
3B	Lasery emitujące promieniowanie widzialne lub niewidzialne zazwyczaj zagrażające przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę . Patrzenie na odbite promieniowanie rozproszone jest zazwyczaj bezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> – lasery biostymulacyjne w medycynie i kosmetyce – lasery laboratoryjne 
4	Lasery emitujące promieniowanie widzialne lub niewidzialne zazwyczaj zagrażające przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę , które mogą wytworzyć zagrożenie także przy odbiciach rozpraszających . Mogą powodować obrażenia skóry oraz stwarzają zagrożenie pożarem. Ich obsługa wymaga szczególnej ostrożności	<ul style="list-style-type: none"> – lasery chirurgiczne – lasery do cięcia, spawania, znakowania 

^{*)} Źródło rysunków: http://www.emsd.gov.hk/emsd/eng/pps/oa_ls_pub_sglp.shtml).

Tabela 3.2. Zestawienie wymagań dla poszczególnych klas lasera (na podstawie [1, 3])

Klasa	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Opis	bezpieczny w możliwych do przewidzenia warunkach	bezpieczny dla nieuzbrojonego oka; może być niebezpieczny, jeśli zastosuje się urządzenia optyczne	bezpieczny w przypadku krótkiego patrzenia w wiązkę; ochronę oka zapewnia odruch awersyjny	bezpieczny w przypadku krótkiego patrzenia w wiązkę; może być niebezpieczny, jeśli zastosuje się urządzenia optyczne	potencjalne zagrożenie przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę	niebezpieczny przy bezpośrednim patrzeniu w wiązkę; wiązka odbita może być niebezpieczna dla oczu	niebezpieczny dla oka i skóry przy ekspozycji na wiązkę bezpośrednią i odbitą; zagrożenie pożarowe
Kontrola	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	wymagane	wymagane
Szkolenie pracowników	niewymagane	zalecane	niewymagane	zalecane	wymagane	wymagane	wymagane
Środki ochrony indywidualnej	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	mogą być wymagane	wymagane	wymagane
Środki zapobiegawcze	brak	unikąć stosowania powiększających lub skupiających urządzeń optycznych	unikąć patrzenia w wiązkę	unikąć patrzenia w wiązkę oraz stosowania powiększających lub skupiających urządzeń optycznych	zapobiegać patrzeniu w wiązkę	zapobiegać narażeniu oczu na wiązkę bezpośrednią i odbitą	zapobiegać narażeniu oczu i skóry na wiązkę bezpośrednią i odbitą
Stosowanie znaków ostrzegawczych	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	wymagane	wymagane
Mianowanie inspektora do spraw bezpieczeństwa laserowego	niewymagane	niewymagane	niewymagane	niewymagane	zalecane, gdy emisja promieniowania niewidzialnego	wymagane	wymagane

Ważne

- Urządzeń laserowych klasy **3B i 4** nie należy stosować bez uprzedniego przeprowadzenia oceny ryzyka!
- Przy ocenie ryzyka na stanowiskach z laserami klasy 3B i 4 należy sprawdzić, czy nie występuje zagrożenie promieniowaniem odbitym.
- Jeśli stosowane są lasery o innych klasach niż 3B i 4 w warunkach odbiegających od zaleceń producenta, należy dokonać oceny ryzyka.

3.2. Klasyfikacja bezpieczeństwa lamp i systemów lampowych

Nie wszystkie źródła promieniowania są w takim samym stopniu potencjalnym zagrożeniem dla zdrowia, dlatego potrzebne stało się ustalenie kryteriów zagrożenia fotobiologicznego promieniowaniem optycznym emitowanym przez lampy. W tym celu została opracowana norma PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*, w której podano klasyfikację lamp ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne. Klasyfikacja ta opiera się na maksymalnych dopuszczalnych ekspozycjach (MDE) w całym zakresie promieniowania emitowanego przez dane źródło. Uwzględniono w niej poziom promieniowania emitowanego przez dane urządzenie (lampę lub system lampowy), zakres widmowy promieniowania i dostęp człowieka. W każdej grupie ryzyka ustalono kryteria czasowe dla każdego zagrożenia fotobiologicznego. Kryteria dobrano tak, aby stosowana wartość graniczna nie została przekroczona w danym czasie. Wyróżniono cztery grupy ryzyka, przedstawione w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Klasyfikacja lamp i systemów lampowych (urządzeń), (na podstawie [4])

Grupa ryzyka	Stopień ryzyka	Komentarz
Wolna od ryzyka	brak ryzyka	brak ryzyka w możliwych do przewidzenia warunkach
1	niskie ryzyko	ryzyko jest ograniczone przez normalne ograniczenia behawioralne w razie narażenia
2	umiarkowane ryzyko	ryzyko jest ograniczone przez reakcje awersyjne na bodziec świetlny jaskrawych źródeł
3	wysokie ryzyko	ryzyko może występować nawet w przypadku krótkiego narażenia

Grupa wolna od ryzyka

Urządzenia zaklasyfikowane do grupy wolnej od ryzyka **nie stwarzają żadnego zagrożenia fotobiologicznego**, tj. **nie stwarzają:**

- zagrożenia nadfioletem aktywnym (E_s) w ciągu 8 h ekspozycji, ani
- zagrożenia nadfioletem bliskim (E_{UVA}) w ciągu 1 000 s ekspozycji, ani

- zagrożenia siatkówki światłem niebieskim (L_B) w ciągu 10 000 s ekspozycji, ani
- zagrożenia termicznego siatkówki (L_R) w ciągu 10 s, ani
- zagrożenia oka promieniowaniem podczerwonym (E_{IR}) w ciągu 1 000 s.

Przykład:

- monitory komputerów, wyświetlacze urządzeń, lampki kontrolne.

Grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko)

Urządzenia zaklasyfikowane do grupy niskiego ryzyka nie stwarzają zagrożenia fotobiologicznego z powodu normalnych ograniczeń ekspozycji w warunkach użytkowania. Wymaganie to jest spełnione przez każde urządzenie, które przekracza granice grupy wolnej od ryzyka, **ale które nie stwarza:**

- zagrożenia nadfioletem aktywnym (E_s) w ciągu 10 000 s ekspozycji, ani
- zagrożenia nadfioletem bliskim (E_{UVA}) w ciągu 300 s ekspozycji, ani
- zagrożenia siatkówki światłem niebieskim (L_B) w ciągu 100 s ekspozycji, ani
- zagrożenia termicznego siatkówki (L_R) w ciągu 10 s, ani
- zagrożenia oka promieniowaniem podczerwonym (E_{IR}) w ciągu 100 s.

Przykład:

- świetlówki do ogólnych celów oświetleniowych,
- świetlówki kompaktowe,
- latarki.

Więcej przykładów przedstawiono w załączniku 1.

Grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko)

Urządzenia zaklasyfikowane do grupy umiarkowanego ryzyka nie stwarzają zagrożenia fotobiologicznego z powodu odruchu awersyjnego oka przy obserwacji bardzo jaskrawych źródeł światła lub z powodu dyskomfortu termicznego. Wymaganie to jest spełnione przez każde urządzenie, które przekracza granice grupy ryzyka 1, **ale które nie stwarza:**

- zagrożenia nadfioletem aktywnym (E_s) w ciągu 1 000 s ekspozycji, ani
- zagrożenia nadfioletem bliskim (E_{UVA}) w ciągu 100 s ekspozycji, ani
- zagrożenia siatkówki światłem niebieskim (L_B) w ciągu 0,25 s ekspozycji, ani
- zagrożenia termicznego siatkówki (L_R) w ciągu 0,25 s, ani
- zagrożenia oka promieniowaniem podczerwonym (E_{IR}) w ciągu 10 s.

Przykład:

- energooszczędne żarówki halogenowe reflektorowe,
- żarówki ledowe.

Więcej przykładów przedstawiono w załączniku 1.

Grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko)

Źródła zaklasyfikowane do grupy wysokiego ryzyka mogą stwarzać zagrożenie fotobiologiczne nawet przy chwilowej lub krótkiej ekspozycji. Źródła, które przekraczają granice grupy ryzyka 2, są zaliczane do grupy ryzyka 3 (wysokie ryzyko).

Przykład:

- świetlówka UVC.

Ważne

- Klasyfikacja dotyczy pojedynczego urządzenia/źródła – nie uwzględnia skumulowanego narażenia na wiele źródeł.
- Klasyfikacja dotyczy normalnego stosowania urządzenia/źródła i nie ma zastosowania, gdy:
 - urządzenie to stanowi część złożonej instalacji (np. zainstalowane jest w innym urządzeniu lub maszynie),
 - część promieniowania ulega odbiciu od elementów stanowiska/otoczenia i do pracownika dociera promieniowanie bezpośrednie oraz odbite,
 - dane źródło jest zainstalowane w innej oprawie.
- Źródła światła/oprawy oświetleniowe klasyfikuje się według odległości, przy której natężenie oświetlenia wynosi 500 lx, a pozostałe promienniki klasyfikuje się przy odległości 20 cm od źródła. Klasyfikacja może być nieadekwatna w przypadku wszystkich okoliczności stosowania danego urządzenia.

3.3. Klasyfikacja bezpieczeństwa maszyn

Maszyny, które wytwarzają promieniowanie optyczne, mogą zostać sklasyfikowane zgodnie z normą PN-EN 12198-1 [2]. W zależności od emisji dostępnej maszyny zalicza się do jednej z trzech kategorii, które przedstawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Klasyfikacja maszyn ze względu na poziom promieniowania (na podstawie [2])

Kategoria	Ograniczenia i środki ochrony	Informowanie i szkolenie
0	Źadnych ograniczeń	niewymagane
1	Może być potrzebne ograniczenie dostępu i środki ochrony	wymagane informowanie dotyczące zagrożeń, ryzyka i skutków ubocznych
2	Niezbędne specjalne ograniczenia i środki ochrony	wymagane informowanie dotyczące zagrożeń, ryzyka i skutków ubocznych; może być potrzebne szkolenie

Maszyna jest zaliczana do jednej z trzech kategorii na podstawie pomiarów poziomu promieniowania mierzonych w odległości 10 cm od powierzchni dostępu maszyny. W tabeli 3.5 przedstawiono wartości graniczne emisji dla poszczególnych kategorii.

Tabela 3.5. Wartości graniczne emisji dla poszczególnych kategorii emisji maszyn (na podstawie [2])

Kategoria	Skuteczne natężenie napromienienia nadfioletem mW/m^2	Skuteczne natężenie napromienienia światłem niebieskim $\alpha < 11$ mrad mW/m^2	Skuteczna luminancja energetyczna światła niebieskiego $\alpha \geq 11$ mrad $W/(m^2sr)$	Natężenie napromienienia VIS i IR W/m^2
	E_s	E_B	L_B	E_{VIS+IR}
0	$\leq 0,1$	≤ 1	≤ 10	≤ 33
1	≤ 1	≤ 10	≤ 100	≤ 100
2	> 1	> 10	> 100	> 100

Literatura

1. 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>
2. PN-EN 12198-1 *Bezpieczeństwo maszyn – Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny – Cz. 1: Zasady ogólne*.
3. PN-EN 60825-1:2010 *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych – Cz. 1: Klasyfikacja sprzętu i wymagania*.
4. PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*.

4. Stan prawny

4.1. Uwagi wstępne

Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) [3] zawiera minimalne wymagania dotyczące podejmowania niezbędnych środków ochrony pracowników przed sztucznym promieniowaniem optycznym w związku z jego potencjalnie szkodliwym wpływem na zdrowie i bezpieczeństwo. Ustanowienie tej dyrektywy podkreśliło znaczenie promieniowania optycznego jako czynnika potencjalnie szkodliwego w środowisku pracy. Dyrektywa ramowa 89/391/EWG z dnia 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków w celu poprawy bezpieczeństwa i zdrowia pracowników w miejscu pracy [2] i transponujące ją w Polsce akty prawne (ustawa Kodeks pracy [4] oraz Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [6]) wskazują wyraźnie, że pracodawca powinien oceniać ryzyko zawodowe związane ze wszystkimi czynnikami środowiska pracy, które mogą stanowić o szkodliwości dla zdrowia pracownika. Nie zawierają one jednak specyficznych wymagań, jakie wiążą się z tym czynnikiem. Dyrektywa 2006/25/WE jest 19. dyrektywą szczegółową w rozumieniu art. 16.1 dyrektywy 89/391/EWG, co oznacza, że:

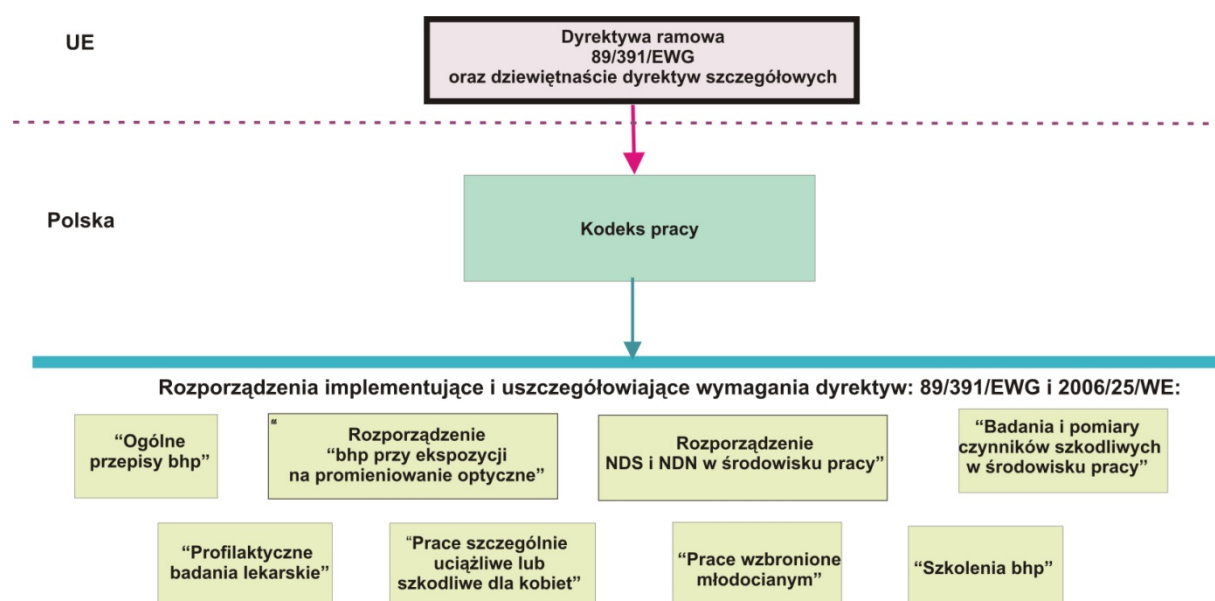
- zawiera wymagania bardziej rygorystyczne oraz specyficzne ze względu na rodzaj zagrożenia, jakie powoduje promieniowanie optyczne,
- w sprawach nieuregulowanych dyrektywą szczegółową stosuje się przepisy dyrektywy ramowej,
- w krajach członkowskich Unii Europejskiej można ustanawiać wymagania bardziej rygorystyczne niż poziom wskazany w dyrektywie szczegółowej,
- w krajach członkowskich Unii Europejskiej nie wolno ustanawiać wymagań na mniej rygorystycznym poziomie niż obowiązujący w chwili transpozycji.

Treść dyrektywy 2006/25/WE zawiera podstawowe definicje pojęć stosowanych w jej treści (art. 2. dyrektywy) oraz przepisy dotyczące:

- obowiązków pracodawcy w zakresie:
 - określenia ekspozycji i oceny ryzyka (art. 4. dyrektywy),
 - unikania lub ograniczania ryzyka (art. 5. dyrektywy),
 - informowania i szkolenia pracowników (art. 6. dyrektywy),
 - konsultacji i udziału pracowników (art. 7. dyrektywy),
- spraw różnych, w tym profilaktycznych badań lekarskich (art. 8. dyrektywy).

Załączniki do dyrektywy zawierają wartości graniczne ekspozycji na nielaserowe promieniowanie optyczne oraz na promieniowanie laserowe, do których odwołuje się art. 3. dyrektywy [3].

Polska, jako kraj członkowski Unii Europejskiej, była zobowiązana do 27 kwietnia 2010 r. implementować do prawa krajowego zapisy treści dyrektywy 2006/25/WE oraz zawarte w jej załącznikach wartości graniczne ekspozycji na nielaserowe i laserowe promieniowanie optyczne. W istniejącym systemie prawnym Polski transpozycja każdej dyrektywy, w tym również dyrektywy 2006/25/WE, nie może nastąpić na mocy jednego aktu prawnego. Dyrektywa ramowa oraz dyrektywy szczegółowe są transponowane do systemu prawnego poprzez Kodeks pracy [4] oraz szereg rozporządzeń. Schemat przedstawiający sposób transpozycji dyrektyw do prawa krajowego przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Schemat sposobu transpozycji dyrektyw do prawa krajowego na przykładzie dyrektywy 2006/25/WE

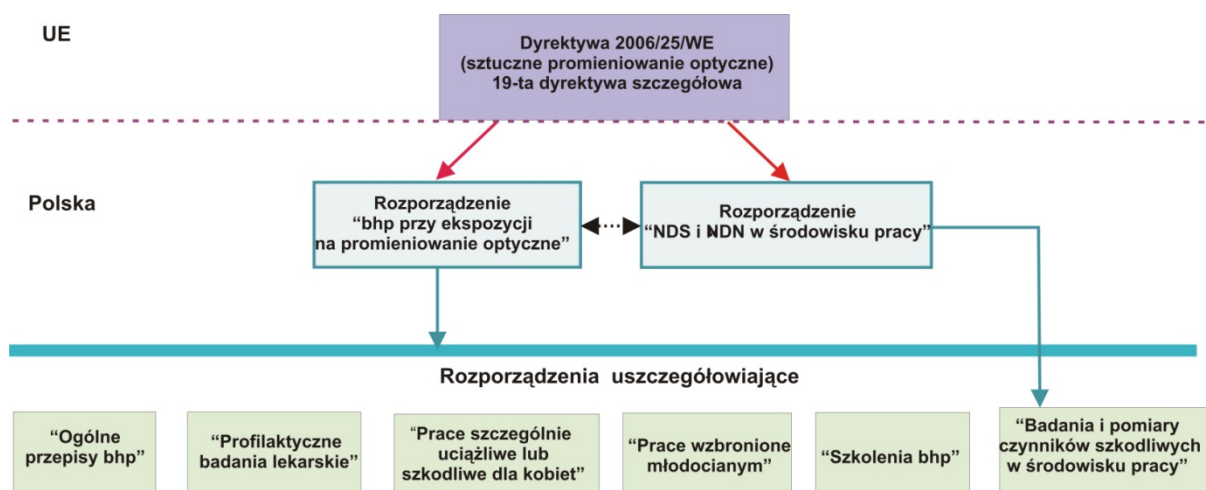
W przypadku dyrektywy 2006/25/WE rozporządzeniami bezpośrednio transponującymi zapisy dyrektywy są:

- *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* [7] – w zakresie podstawowych wymagań dyrektywy,
- *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [8] – w zakresie maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na nielaserowe i laserowe promieniowanie optyczne.

Ponadto, w odniesieniu do stanowisk pracy, na których występuje ekspozycja na promieniowanie optyczne, należy stosować również uregulowania innych rozporządzeń, które implementują i uszczegółwiają wymagania dyrektywy ramowej 89/292/EWG i dyrektywy 2006/25/WE. Są to:

- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [10],
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy [9],
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [12],
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet [11],
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy [5].

Schemat obrazujący stan prawny w Polsce obowiązujący w przypadku ekspozycji zawodowej na promieniowanie optyczne przedstawiono na rysunku 4.2. Zielone strzałki na rysunku ilustrują powiązania między poszczególnymi rozporządzeniami, wynikające ze wzajemnych powołań w tych aktach prawnych. Nazwy dyrektyw i rozporządzeń przedstawiono na schemacie hasłowo.



Rys. 4.2. Schemat przedstawiający sposób transpozycji dyrektywy 2006/25/WE do prawa polskiego oraz powiązania między poszczególnymi rozporządzeniami

4.2. Rozporządzenie w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne

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 [7] określa minimalne wymagania bhp przy ekspozycji na sztuczne promieniowanie optyczne: nielaserowe i laserowe, dotyczące w szczególności:

- wyznaczania poziomu ekspozycji,
- oceny ryzyka zawodowego,
- unikania lub ograniczania ryzyka zawodowego,
- informowania i szkolenia pracowników.

Poniżej omówiono najważniejsze wymagania tego rozporządzenia i wyjaśniono zagadnienia, które mogą wydawać się niejasne dla jego czytelników.

4.2.1. Wyznaczanie poziomu ekspozycji

Aby omawiać wymagania odnośnie do wyznaczania poziomu ekspozycji, należy przypomnieć definicje poziomu promieniowania i poziomu ekspozycji. Zgodnie z definicjami zawartymi w § 2 omawianego rozporządzenia:

- poziom promieniowania jest to wartość parametrów charakteryzujących promieniowanie optyczne jako fizyczny czynnik szkodliwy dla zdrowia w środowisku pracy, określonych w załączniku do rozporządzenia (czyli są to: natężenie napromienienia, napromienienie, luminancja energetyczna),
- poziom ekspozycji jest to poziom promieniowania po uwzględnieniu środków ochrony zbiorowej, zastosowanych w celu ograniczenia ekspozycji pracownika na promieniowanie optyczne.

Uwaga

Poziom ekspozycji wyznacza się bez stosowania środków ochrony indywidualnej. Poziom ekspozycji może być taki sam jak poziom promieniowania. Dotyczy to przede wszystkim tych zagrożeń, dla których wartości MDE są określone poprzez natężenie napromienienia oraz luminancję energetyczną (radiancję). W przypadku napromienienia, które jest iloczynem natężenia napromienienia i czasu ekspozycji, wartość poziomu promieniowania odpowiada natężeniu napromienienia na eksponowanej części ciała pracownika, natomiast wartość poziomu ekspozycji odpowiada napromienieniu eksponowanej części ciała w czasie ekspozycji.

4.2.1.1. Sposób ustalania poziomu ekspozycji

Zgodnie z przepisami omawianego rozporządzenia [7] pracodawca ustala poziom promieniowania i poziom ekspozycji na podstawie:

- badań i pomiarów wykonywanych zgodnie z wymaganiami *Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [10], lub
- oceny opartej na charakterystykach technicznych źródła promieniowania, które umożliwiają określenie odpowiednich parametrów promieniowania optycznego bez wykonywania badań i pomiarów w środowisku pracy.

Uwaga

- Przy ustalaniu poziomu ekspozycji na podstawie oceny opartej na charakterystykach technicznych źródła promieniowania niezbędne jest otrzymanie od producenta danego źródła promieniowania wyników pomiarów emitowanych poziomów promieniowania (dotyczy to zarówno lamp i systemów lampowych jak i emisji maszyn). Wówczas, bez konieczności wykonywania pomiarów, stosując prawa i reguły dotyczące promieniowania optycznego, można dokonać obliczeń odpowiednich poziomów ekspozycji służących do oceny ryzyka na danym stanowisku pracy. Aby było to możliwe, parametry techniczne źródła promieniowania podane przez producenta powinny być przedstawione w postaci:
 - rozkładów widmowych natężenia napromienienia lub luminancji energetycznej danego źródła z podaniem geometrii pomiaru, przy której je wyznaczono, lub
 - wartości natężenia napromienienia lub luminancji energetycznej wyznaczonych zgodnie ze wzorami zawartymi w załączniku 1. do omawianego rozporządzenia, z podaniem geometrii pomiaru, przy której je wyznaczono. Z uwagi na fakt, że wartości napromienienia wyznacza się jako iloczyn natężenia napromienienia i czasu ekspozycji pracownika, producent nie musi podawać tego parametru, gdyż dysponując wartością natężenia napromienienia i rzeczywistym czasem ekspozycji można go wyliczyć (dotyczy to przypadków wyznaczania napromienienia oczu i skóry nadfioletem oraz napromienienia skóry promieniowaniem widzialnym i podczerwonym).
- Dysponując wyłącznie grupą ryzyka danej lampy, bez wyników pomiarów poszczególnych parametrów promieniowania, nie można przeliczyć poziomu ekspozycji dla danych warunków użytkowania danej lampy.

Ważne

Przy obliczeniach należy zwrócić uwagę na wiele aspektów związanych ze specyfiką danego stanowiska, które mogą w istotny sposób wpłynąć na wyznaczane w ten sposób parametry promieniowania. Zalicza się do nich:

- rodzaj i liczbę źródeł promieniowania występujących na danym stanowisku pracy (natężenie napromienienia na eksponowanych częściach ciała dla poszczególnych zakresów promieniowania optycznego jest sumą natężeń od poszczególnych źródeł),
- geometrię położenia źródeł promieniowania względem eksponowanych części ciała pracownika (odległości, kąt widzenia źródła itp.),
- występowanie elementów przesłaniających źródła (klosze, elementy maszyny itp.) albo powodujących odbicie kierunkowe lub rozproszone promieniowania (odbłyśniki, elementy maszyny czy stanowiska pracy itp.).

4.2.1.2. Powtarzanie wyznaczania poziomu ekspozycji

Powtórne wyznaczanie poziomu ekspozycji **zarówno na podstawie pomiarów jak i oceny** wykonuje się, jeżeli nastąpiły zmiany w wyposażeniu technicznym, procesie technologicznym na stanowisku pracy lub w warunkach wykonywania pracy, które mogą mieć wpływ na poziom promieniowania lub ekspozycji, bądź w przypadku, gdy wystąpiły inne okoliczności uzasadniające jego ponowne wykonanie. Do innych okoliczności można zaliczyć np. usytuowanie w pobliżu danego stanowiska pracy innego źródła promieniowania optycznego, którego promieniowanie może wpłynąć na zmianę poziomu ekspozycji.

Jeśli poziom ekspozycji został ustalony na podstawie pomiarów, wówczas częstotliwość badań określa się na podstawie wyniku porównania wyznaczonych poziomów ekspozycji z wartościami MDE, zgodnie z zapisami §8.2 i §9. *Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [10].

Ważne

Przy ocenie zagrożenia fotochemicznego promieniowaniem nadfioletowym oraz światłem niebieskim istotny wpływ na poziom ryzyka ma całkowity czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej. Jeśli ten czas ulega zmianie, to w przypadku zagrożenia nadfioletem ulega zmianie poziom ekspozycji, a w przypadku zagrożenia siatkówki światłem niebieskim może ulec zmianie wartość MDE.

W przypadku oceny zagrożenia termicznego oczu promieniowaniem podczerwonym, wartość czasu jednorazowej ekspozycji wpływa jedynie na wartość MDE, natomiast nie wpływa na poziom ekspozycji.

Tylko w przypadku zagrożenia termicznego skóry promieniowaniem VIS + IRA + IRB czas jednorazowej ekspozycji wpływa zarówno na wartość MDE jak i poziom ekspozycji pracownika.

We wszystkich tych przypadkach należy ponownie wykonać ocenę ryzyka ze względu na poziom ekspozycji, gdyż krotność MDE ulegnie zmianie (przykład 4. w rozdz. 7.1.1.2).

4.2.1.3. Kiedy nie ma potrzeby określania poziomu promieniowania

Promieniowanie optyczne jest stałym elementem środowiska pracy i życia człowieka, niezbędnym do normalnego funkcjonowania człowieka. Znajdujące się w otoczeniu człowieka przedmioty, jak również ludzie i zwierzęta, są źródłami promieniowania podczerwonego, a światło pochodzące od oświetlenia elektrycznego czy też naturalnego jest nam niezbędne do postrzegania otaczającego świata. I choć z formalnego punktu widzenia tych źródeł wokół nas jest bardzo wiele, to nie ma uzasadnionej potrzeby traktowania ich wszystkich jako źródła zagrożenia dla zdrowia i określania dla nich poziomu promieniowania.

W rozporządzeniu przyjęto, że nie rozpatruje się promieniowania optycznego jako czynnika szkodliwego, gdy poziom ekspozycji nie przekracza 0,4 wartości MDE, a ekspozycja nie dotyczy pracowników należących do grup szczególnego ryzyka (patrz rozdz. 4.2.2) lub nie występują inne czynniki powodujące wzrost zagrożenia. Do innych czynników powodujących wzrost zagrożenia zalicza się: współwystępowanie w środowisku pracy promieniowania optycznego i fotouczulających substancji chemicznych oraz pośrednie skutki mające wpływ na bezpieczeństwo pracowników, w szczególności zagrożenia związane z możliwością wywołania ośnienia, pożaru lub wybuchu (patrz rozdz. 4.2.2).

Ponadto, aby zapobiec niepotrzebnym kosztom związanym z wykonywaniem pomiarów lub oceną poziomu promieniowania, w omawianym rozporządzeniu przedstawiono cztery przypadki ogólne, kiedy można odstąpić od określania poziomu promieniowania i ekspozycji, a mianowicie:

- 1) jeśli lampy użytkowane w oświetleniu ogólnym są zainstalowane w przeznaczonych dla nich oprawach oświetleniowych oraz znajdują się w odpowiedniej odległości od ekspozycyjnych części ciała pracownika lub
- 2) jeśli lampy lub systemy lampowe są zaklasyfikowane do grupy wolnej od ryzyka zgodnie z Polską Normą PN-EN 62471 [20] lub
- 3) jeśli lasery są zaliczone, zgodnie z Polską Normą PN-EN 60825-1 [19], do klasy 1, 1M, 2, 2M lub 3R i pracują w warunkach określonych przez producenta urządzenia lub
- 4) jeśli lasery są zaliczone, zgodnie z Polską Normą PN-EN 60825-1 [19], do klasy 3B lub 4 i zostały do nich zastosowane środki ochrony zbiorowej, pozwalające na zaklasyfikowanie urządzenia do klasy 1.

Ad 1)

W przypadku, gdy oświetlenie ogólne jest realizowane na podstawie projektu oświetleniowego, z uwzględnieniem wymagań normy PN-EN 12464-1 [17] oraz PN-EN 12464-2 [18], odnośnie do ograniczenia olśnienia przykrego można przyjąć, że nie ma zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem optycznym emitowanym przez te źródła. Wówczas źródła światła znajdują się w oprawach oświetleniowych o odpowiednio dobranej optyce (klosze, rastry itp.), usytuowanych w wystarczająco dużej odległości od głowy pracownika, aby nie powodować olśnienia ani zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem optycznym. Należy natomiast zwrócić szczególną uwagę na umiejscowienie źródeł światła emitujących znaczące ilości promieniowania UV i o dużej jaskrawości (luminancja rzędu Mcd/m^2), takie jak np.: wysokoprężne lampy rtęciowe, lampy metalohalogenkowe oraz żarówki halogenowe o mocy od 500 W. Źródła te nie mogą być umieszczane nisko nad stanowiskiem pracy, np. jako oświetlenie zlokalizowane. Jeśli zachodzi taka sytuacja, to należy określić poziom promieniowania i ekspozycji.

Uwaga

Więcej informacji dotyczących źródeł nieistotnych można znaleźć w rozdziale 2.3.

Ważne

W każdym przypadku budzącym wątpliwość zalecane jest określenie poziomu ekspozycji, aby mieć pewność, że nie doszło do przekroczenia wartości 0,4 MDE.

Ad 2)

Jeśli dana lampa lub system lampowy (np. oprawa czy urządzenie wraz z jedną lub więcej lampami) mają odpowiedni certyfikat lub inny wiarygodny dokument stwierdzający, że na podstawie wykonanych badań zgodnie z normą PN-EN 62471 [20] zostały zaklasyfikowane do grupy wolnej od ryzyka, to uznaje się, że nie ma potrzeby ustalania poziomu promieniowania, a ryzyko zawodowe ocenia się jako małe.

Uwaga

Mogą wystąpić przypadki, kiedy poziom promieniowania powinien być wyznaczony pomimo zaklasyfikowania danej lampy lub systemu lampowego do grupy wolnej od ryzyka. Dotyczy to w szczególności sytuacji, gdy:

- wyznaczona grupa ryzyka danej lampy odnosi się do samego promiennika bez zastosowania układu optycznego kształtującego rozsył promieniowania (jak np. odbłyśnik czy raster), a na stanowisku lampa ta jest zainstalowana w oprawie z odbłyśnikiem (np. wysokopolerowanym). Przykładowo: zastosowanie odbłyśnika asymetrycznego parabolicznego aluminiowanego o strukturze młotkowej zwiększa poziom natężenia napromienienia około dwukrotnie,
- wyznaczona grupa ryzyka danego systemu lampowego odnosi się do jednego promiennika w oprawie lub urządzeniu, a na stanowisku znajduje się oprawa lub urządzenie z większą liczbą takich samych promienników,
- wyznaczona grupa ryzyka danego systemu lampowego odnosi się do jednego promiennika w oprawie lub urządzeniu, a na stanowisku jest inna oprawa lub urządzenie z tą samą lampą,
- na stanowisku znajduje się jednocześnie kilka lamp lub systemów, a promieniowanie przez nie emitowane dociera do ekspozowanych części ciała pracownika bezpośrednio lub poprzez odbicia kierunkowe.

Ważne

W każdym wątpliwym przypadku zalecane jest wykonanie pomiarów poziomu ekspozycji, aby mieć pewność, że nie doszło do przekroczenia wartości 0,4 MDE.

Ad 3)

W przypadku obsługi laserów klasy 1, 1M, 2, 2M i 3R nie ma zagrożenia dla zdrowia, jeśli lasery te są wykorzystywane zgodnie z przeznaczeniem i pracują w warunkach określonych przez producenta. Oznacza to, że urządzenie laserowe jest usytuowane i obsługiwane zgodnie z instrukcją i zaleceniami producenta, nie zdemontowano żadnych osłon ani nie dokonano ingerencji w układzie optycznym urządzenia, np. poprzez wprowadzanie elementów skupiających (np. soczewki) lub odbijających kierunkowo (np. lustra) w tor wiązki laserowej. W przypadku wskaźników laserowych klasy 3R nie należy stosować ich niezgodnie z przeznaczeniem, tj. np. kierować wiązką bezpośrednio do oczu słuchaczy podczas wykładu.

Uwaga

Więcej informacji dotyczących źródeł nieistotnych można znaleźć w rozdziale 2.3.

Ad 4)

W przypadku laserów klasy 3B lub 4 wyposażonych w dodatkowe środki ochrony zbiorowej (np. ekrany lub obudowy ochronne oraz środki techniczne uniemożliwiające wejście pracownika w strefę zagrożenia promieniowaniem laserowym podczas emisji wiązki), których zastosowanie pozwala je zaklasyfikować do klasy 1, nie ma potrzeby wyznaczania poziomu ekspozycji, gdyż wówczas są to lasery bezpieczne. Należy jednak pamiętać, że jeśli zabezpieczenia te zostaną choćby częściowo zdemontowane lub uszkodzone, to wówczas zmienia się klasa bezpieczeństwa urządzenia laserowego i staje się ono laserem niebezpiecznym, odpowiednio klasy 3B lub 4.

4.2.2. Ocena ryzyka zawodowego

W omawianym rozporządzeniu (§4.1) określono dziesięć aspektów, które powinny być uwzględnione przy ocenie ryzyka zawodowego związanego z promieniowaniem optycznym. Ocena ryzyka dotyczy wszystkich czynności związanych z eksploatacją źródła promieniowania w miejscu pracy w zakresie: obsługi, konserwacji, remontów, montażu i kontrolno-pomiarowym. Komentarz dotyczący poszczególnych punktów odnośnie do aspektów uwzględnianych przy ocenie ryzyka przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Aspekty uwzględniane przy ocenie ryzyka, zgodnie z rozporządzeniem [7]

Pkt	Treść (zgodnie z §4.1 rozporządzenia)	Komentarz
1.	Czynniki mające wpływ na skutki oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka, określone w załączniku do rozporządzenia dla promieniowania nielaserowego	<p>Do czynników tych zalicza się: długość fali, poziom promieniowania, rodzaj ekspozycji tkanki (oczy, skóra), rozmiar obrazu na siatkówce oka (dla promieniowania z zakresu VIS i IRA przy ocenie zagrożenia oczu), czas ekspozycji (jednorazowej, całkowitej, czas trwania pojedynczego impulsu – w przypadku urządzeń laserowych pracujących w trybie impulsowym)</p> <p><u>Uwagi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ocena ryzyka zawodowego przy ekspozycji pracownika na określony zakres promieniowania optycznego odnosi się zawsze do więcej niż jednej ekspozycji części ciała i zwykle dotyczy oczu, skóry twarzy i rąk. Czasami, przy dużym zróżnicowaniu położenia źródła względem obu kończyn lub oczu, wyznacza się dla nich osobno wartości poziomu ekspozycji. Wówczas wykonuje się cząstkowe oceny ryzyka dla poszczególnych części ciała, a następnie wyznacza sumaryczną ocenę ryzyka, przyjmując najwyższy stopień ryzyka wynikający z ocen cząstkowych (patrz przykłady w załączniku 2b)
2.	Wartości MDE, w tym również wartości MDE odrębnie dla kobiet w ciąży, określone w przepisach w sprawie prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet, oraz ograniczenia przy zatrudnianiu młodocianych, wynikające z przepisów w sprawie prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac	<ul style="list-style-type: none"> Przy wyznaczaniu wartości MDE istotne są informacje zawarte pkt 1. tabeli, uwzględniane również przy wyznaczaniu poziomu ekspozycji Przy określaniu wartości MDE dla promieniowania nadfioletowego należy sprawdzić, czy na stanowisku zatrudnione są kobiety w ciąży i wówczas zgodnie z przepisami w sprawie prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet [11] wyznaczyć odpowiednio mniejszą wartość MDE Przy określaniu ryzyka zawodowego należy sprawdzić, czy na stanowisku zatrudnieni są młodociani i wówczas zastosować się do ograniczeń w zatrudnianiu młodocianych, zgodnie z przepisami w sprawie prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [12]
3.	Skutki dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników, w tym należących do grup szczególnego ryzyka	<p>Do grup szczególnego ryzyka zalicza się:</p> <ul style="list-style-type: none"> młodocianych kobiety w ciąży osoby ze stwierdzonymi schorzeniami powodującymi nadwrażliwość na promieniowanie optyczne osoby przyjmujące środki fotouczulające <p><u>Uwagi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> nadwrażliwość na promieniowanie optyczne (nadfiolet i widzialne) powinna być określona podczas profilaktycznych badań lekarskich i jeśli zostanie ona stwierdzona, to powinien być o tym poinformowany pracownik i pracodawca pracownicy zatrudnieni w narażeniu na nadfiolet powinni być poinformowani o tym, że stosowanie środków fotouczulających może spowodować u nich wystąpienie szkodliwych skutków dla zdrowia w postaci fotodermatoz; zaleca się im sprawdzenie, czy zażywane lekarstwa, stosowane kosmetyki i zioła nie zawierają substancji fotouczulających informacje dotyczące fotodermatoz i substancji fotouczulających przedstawiono w rozdziale 4.2.2.2

Tabela 4.1., cd.

Pkt	Treść (zgodnie z §4.1 rozporządzenia)	Komentarz
4.	Możliwe skutki dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników, wynikające ze współwystępowania w środowisku pracy promieniowania optycznego i fotouczulających substancji chemicznych	<p>Nadwrażliwość mogą spowodować również niektóre substancje chemiczne występujące w środowisku pracy wykazujące się tzw. działaniem fototoksycznym. Występowanie takich substancji przy jednoczesnej ekspozycji na promieniowanie UV może spowodować reakcje fototoksyczne lub fotoalergiczne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Informacje dotyczące substancji fotouczulających występujących w przemyśle przedstawiono w rozdziale 4.2.2.2.
5.	Pośrednie skutki mające wpływ na bezpieczeństwo pracowników, w szczególności zagrożenia związane z możliwością wywołania ośnienia, pożaru lub wybuchu	<ul style="list-style-type: none"> • Niektóre źródła promieniowania mogą stanowić zagrożenie wybuchem; takie zagrożenie może też powodować środowisko, w którym te źródła się znajdują (użytkowanie w pomieszczeniach o środowisku wybuchowym lub w strefach zagrożonych pożarem) • Zagrożenie pożarem może występować przy eksploatacji niektórych technologicznych źródeł promieniowania (spawanie elektryczne, rozlewanie lub spust rozgrzanego metalu) lub przy eksploatacji laserów klasy 4, jeśli jest możliwość emisji promieniowania laserowego w wolną przestrzeń, a w otoczeniu źródeł znajdować się będą przedmioty łatwopalne (jak np. środki opatrunkowe) • Zagrożenie ośnieniem występuje tylko w przypadku ekspozycji oczu na źródła promieniowania widzialnego o bardzo wysokiej luminancji (jaskrawości). Ośnienie ogranicza zdolność spostrzegania lub nawet widzenia na krótki, ale zauważalny czas i wtedy staje się dodatkowym czynnikiem ryzyka
6.	Istnienie urządzeń ochronnych i innego wyposażenia zabezpieczającego przed nadmiernym poziomem ekspozycji	<ul style="list-style-type: none"> • Poziom ekspozycji, zgodnie z definicją zawartą w rozporządzeniu wyznacza się przy zastosowanych środkach ochrony zbiorowej, lecz bez zastosowania środków ochrony indywidualnej. Jeśli poziom ekspozycji wskazuje na przekroczenia wartości MDE, wówczas należy wprowadzić dodatkowe środki ochrony, obniżające poziom ekspozycji poniżej wartości MDE, w tym środki ochrony indywidualnej • Współczynnik tłumienia środka ochrony indywidualnej powinien być większy od wyznaczonej krotności wartości MDE • Jeśli pracownik jest wyposażony w środki ochrony indywidualnej, należy określić prawidłowość ich doboru. Jeśli to możliwe, należy wyznaczyć ich współczynniki tłumienia na podstawie pomiaru na stanowisku pracy, zgodnie z normą PN-T-06589 [21]. Jeśli nie jest to możliwe, to na podstawie oznakowania danej ochrony należy sprawdzić, czy zastosowany filtr ma odpowiedni współczynnik tłumienia w stosunku do parametrów promieniowania (dotyczy to przede wszystkim filtrów stosowanych w goglach ochronnych przed promieniowaniem laserowym i w automatycznych filtrach spawalniczych). Wskazówki dotyczące wyboru automatycznych filtrów spawalniczych zawiera norma PN-EN 379 [15], a dla filtrów chroniących przed promieniowaniem laserowym normy PN-EN 207 [13] i PN-EN 208 [14]

Tabela 4.1., cd.

Pkt	Treść (zgodnie z §4.1 rozporządzenia)	Komentarz
7.	Wiedza medyczna w dostępnych publikacjach oraz informacje uzyskane w wyniku profilaktycznych badań lekarskich pracowników	<ul style="list-style-type: none"> • Postęp wiedzy w zakresie dotyczącym oceny ryzyka związanego z promieniowaniem optycznym, który jest dostępny w różnych publikacjach, powinien być uwzględniony przy ocenie ryzyka • Ważne są informacje uzyskane w wyniku profilaktycznych badań lekarskich <p><u>Uwagi</u> Jeśli na określonym stanowisku stwierdza się, że jest ryzyko małe ze względu na promieniowanie optyczne, a u pracownika lekarz stwierdził skutki szkodliwe mogące być wynikiem oddziaływania promieniowania optycznego, to należy ponownie przeprowadzić ocenę ryzyka ze względu na poziom ekspozycji na to promieniowanie</p>
8.	Przypadki ekspozycji na promieniowanie optyczne emitowane przez więcej niż jedno źródło promieniowania lub ekspozycji na promieniowanie optyczne o szerokim zakresie długości fal	<p>W przypadku promieniowania pochodzącego od kilku różnych źródeł promieniowania optycznego występujących na stanowisku pracy lub jednego źródła o szerokim zakresie widmowym promieniowania optycznego, dokonuje się oceny różnych zagrożeń dla zdrowia i wynikających stąd cząstkowych ocen ryzyka</p> <p><u>Uwagi</u> Gdy na danym stanowisku pracy występują dwa źródła promieniowania: promiennik UV i promiennik IR (słaby bodziec świetlny) lub jedno źródło o zakresie widmowym promieniowania obejmującym UV i IR, wówczas wykonuje się ocenę zagrożenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • fotochemicznego rogówki i spojówki oczu oraz skóry promieniowaniem UV • fotochemicznego soczewki oka promieniowaniem UVA • termicznego rogówki i soczewki promieniowaniem IRA i IRB • termicznego siatkówki promieniowaniem IRA • termicznego skóry promieniowaniem IR <p>W tym przypadku jako sumaryczną ocenę ryzyka przyjmuje się najwyższy stopień ryzyka wynikający z ocen cząstkowych dla poszczególnych zagrożeń</p>
9.	Klasyfikacja laserów podana w Polskiej Normie PN-EN 60825-1, a także każdej podobnej klasyfikacji źródeł promieniowania, mogących spowodować zagrożenia porównywalne z laserem klasy 3B lub 4	<ul style="list-style-type: none"> • Lasery klasy 3B i 4 emitują promieniowanie, przy którym poziomy ekspozycji mogą przekraczać wartości MDE. Przy urządzeniach laserowych tych klas należy wykonywać pomiary promieniowania odbitego i rozproszonego w obszarze przebywania pracownika, aby określić poziom ekspozycji i związane z nim ryzyko. Jednak w pewnych szczególnych warunkach lasery o klasach niższych również mogą powodować zagrożenia dla zdrowia, a tym samym podlegać ocenie (np. po zdemontowaniu osłony lub wprowadzeniu elementu optycznego w tor wiązki lub przy stosowaniu w inny sposób niż zaleca producent) • Promieniowanie nielaserowe niektórych źródeł może prowadzić do poważnych zagrożeń eksponowanych tkanek i wówczas należy wykonać pomiary poziomu ekspozycji. Aby ułatwić wstępną ocenę, czy dane źródło może stanowić o takim zagrożeniu, wprowadzono w normie PN-EN 62471 [20] klasyfikację ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne. Zaklasyfikowanie do grupy ryzyka 3 danego promiennika oznacza, że takie badania należy wykonać, natomiast przy pozostałych grupach ryzyka (oprócz grupy wolnej od ryzyka) mogą wystąpić zagrożenia dla zdrowia w pewnych okolicznościach ich użytkowania. Należy to również uwzględnić przy ocenie ryzyka

Tabela 4.1., cd.

Pkt	Treść (zgodnie z §4.1 rozporządzenia)	Komentarz
10.	Informacje dostarczane przez producentów źródeł promieniowania i związanego z nimi wyposażenia, wykonywanych zgodnie z normami zharmonizowanymi i spełniających zasadnicze wymagania w rozumieniu przepisów o systemie oceny zgodności	Pracodawca powinien żądać od producenta danego źródła promieniowania optycznego lub urządzenia emitującego to promieniowanie odpowiednich informacji dotyczących parametrów promieniowania. Na podstawie wyników pomiarów emitowanych poziomów promieniowania (dotyczy to zarówno lamp i systemów lampowych, jak i emisji maszyn) można szacować poziom ekspozycji i związane z nim ryzyko bez konieczności wykonywania pomiarów

Identyfikacja źródeł promieniowania optycznego na stanowisku pracy ma na celu określenie tych spośród nich, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia pracownika. W pierwszej kolejności należy określić te źródła promieniowania, które zgodnie z zapisami §3.4 nie wymagają oceny poziomu ekspozycji, a ryzyko związane z emitowanym przez nie promieniowaniem przyjmuje się jako pomijalnie małe. Natomiast w odniesieniu do wszystkich innych źródeł należy dokonać oceny poziomu ekspozycji i uwzględnić pozostałe czynniki wpływające na poziom ryzyka, wymienione w tabeli 4.1. Kolejność postępowania przy ocenie ryzyka wraz z krótkim omówieniem zasady przedstawiono poniżej.

4.2.2.1. Określenie poziomu ekspozycji i wartości MDE

Punktem wyjścia do ustalania ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją na promieniowanie optyczne jest określenie poziomu ekspozycji na promieniowanie optyczne. Wyznaczając poziom ekspozycji i wartości MDE, należy uwzględnić czynniki mające wpływ na skutki oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka, takie jak:

- długość fali,
- poziom promieniowania,
- rodzaj ekspozowanej tkanki (oczy, skóra),
- rozmiar obrazu na siatkówce oka (dla promieniowania z zakresu VIS i IRA przy ocenie zagrożenia oczu),
- czas ekspozycji (jednorazowej, całkowitej, czas trwania pojedynczego impulsu – w przypadku urządzeń laserowych pracujących w trybie impulsowym).

Po wyznaczeniu poziomu ekspozycji i wartości MDE wyznacza się krotność MDE (k) jako iloraz poziomu ekspozycji i wartości MDE, którą przyjmuje się jako podstawę do oceny ryzyka zawodowego ze względu na poziom ekspozycji (patrz przykłady w rozdziale 7.).

W rozdziale 4.2.1 omówiono sposoby ustalania poziomu ekspozycji, wymieniając jako jeden ze sposobów ocenę opartą na charakterystyce technicznej źródła promieniowania, dostarczonej przez producenta źródła lub maszyny emitującej promieniowanie optyczne. Zgodnie z pkt 10. tabeli 4.1, do ustalenia poziomu ekspozycji można wykorzystać dostarczone przed producenta dane odnośnie do:

- grupy ryzyka ze względu na zagrożenie fotobiologiczne stwarzane przez daną lampę lub system lampowy, lub
- kategorii emisji danej maszyny ze względu na promieniowanie optyczne, lub
- klasy bezpieczeństwa danego urządzenia laserowego.

Dane od producenta powinny zawierać wyniki pomiarów emisji promieniowania optycznego (zgodnie z przyjętymi normami technicznymi w tym zakresie (PN-EN 62471 [20], PN-EN 12198-1 [16], PN-EN 60825-1 [19])). Więcej informacji na ten temat przedstawiono w rozdziale 3.

Wyznaczając poziom ekspozycji i wartości MDE, uwzględnia się aspekty oceny ryzyka przedstawione w tabeli 4.1, zawarte w punktach: 1., 2., 6., 7., 8., 10. oraz częściowo 3.

4.2.2.2. Grupy szczególnego ryzyka

Istotnym elementem oceny ryzyka jest rozpatrzenie grup szczególnego ryzyka (pkt 3. tabeli 4.1). Młodociani i kobiety w ciąży są uwzględniani przy ocenie ryzyka ze względu na poziom ekspozycji. W przypadku pozostałych dwóch grup należy kierować się zasadą, że jeśli pracownicy są zatrudnieni w narażeniu na promieniowanie optyczne (zwłaszcza nadfiolet), to należy rozważyć, czy w danym przypadku poziom ryzyka zawodowego może ulec zwiększeniu.

Fotodermatoza to choroba skóry spowodowana ekspozycją na promieniowanie słoneczne, związana z nadwrażliwością na promieniowanie UV i, czasami, widzialne, zależna od mechanizmów immunologicznych lub czynników egzogennych. Nadwrażliwość mogą spowodować niektóre substancje znajdujące się w pożywieniu, stosowane jako leki bądź kosmetyki, a także różnego rodzaju substancje roślinne lub chemiczne występujące w środowisku pracy, wykazujące się tzw. działaniem fototoksycznym. Właściwości fotouczulające substancji chemicznych polegają na powodowaniu zwiększonej wrażliwości komórek na promieniowanie UV lub VIS. Reakcja toksyczna zachodzi w następstwie poddania skóry ekspozycji na to promieniowanie po uprzednim miejscowym lub ogólnoustrojowym podaniu takiej substancji.

Osoby ze skłonnością do fotodermatoz oraz osoby przyjmujące środki fotouczulające, zatrudnione na stanowiskach przy ekspozycji na UV, powinny mieć znacząco ograniczony poziom ekspozycji na to promieniowanie. Z uwagi na fakt, że nie ma ustalonych wartości MDE dla tego rodzaju przypadków, zaleca się przyjmowanie dla tej grupy pracowników większego poziomu ryzyka zawodowego. Aby ograniczyć to ryzyko, należy wprowadzić zmiany organizacyjne, takie jak skrócenie czasu ekspozycji czy oddalenie miejsca przebywania pracownika od źródła promieniowania, lub zmiany techniczne, np. zastosowanie środków ochrony zbiorowej oraz środków ochrony indywidualnej oczu i skóry. Przykłady różnych substancji fotouczulających, które występują w lekach, kosmetykach, roślinach czy środkach promieniochronnych przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Przykłady substancji fotouczulających

Grupa substancji fotouczulających	Przykłady
Zioła	<ul style="list-style-type: none"> • dziurawiec • ruta zwyczajna • lubczyk ogrodowy • arcydzięgiel • nagietek • bergamotka
Niektóre słodziki i barwniki spożywcze	<ul style="list-style-type: none"> • cyklamiat (słodzik) • chinony, błękit metylowy, róż bengalski, eozyna (barwniki)
Leki	<ul style="list-style-type: none"> • leki z grupy barbituranów i sulfonamidów (biseptol) • niesteroidowe środki przeciwzapalne (ibuprofen, naproxen, azapropazon) • środki moczopędne (chlorotiazyd, furosemid) • tabletki na serce przeciw arytmii (metyldopa, propranolol, amidaron) • antybiotyki (tetracykliny) • niektóre środki przeciwdepresyjne, uspokajające (protryptine) • niektóre leki przeciwcukrzycowe (diabetol) • leki hormonalne np. tabletki antykoncepcyjne • leki przeciwgrzybiczne (fentichlor, heksachlorofen) • leki przeciwmalaryczne (chinina) • środki przeciwwymiotne (fenotiazyny) • niektóre środki przeciwbakteryjne, pochodne kwasu benzoowego • pochodne retinoidów zawarte w maściach i lekach doustnych, np. Roaccutane, Differin
Kosmetyki	<ul style="list-style-type: none"> • niektóre substancje zapachowe w perfumach (piżmo, olejki: bergamotowy, cedrowy, lawendowy, sandałowy i waniliowy) • filtry przeciwsłoneczne • środki przeciwbakteryjne w mydłach (halogenopochodne salicylamidów) • Retinoidy (kwas retinowy i jego pochodne, retinol, wyjątkiem jest retinaldehyd, który nie uwrażliwia skóry na światło słoneczne) • kwasy hydroksylowe (AHA, BHA)
Środki promieniochronne	benzofenony, pochodne kwasu cynamonowego, oxybenzon, kwas p-aminobenzoowy (PABA), estry, butylometoksydibenzylometan, izopropylodibenzylometan

4.2.2.3. Współwystępowanie w środowisku pracy promieniowania optycznego i fotouczulających substancji chemicznych

Nadwrażliwość mogą spowodować również niektóre substancje chemiczne występujące w środowisku pracy, wykazujące się tzw. działaniem fototoksycznym. Obecność tego rodzaju substancji przy jednoczesnej ekspozycji na promieniowanie UV może spowodować reakcje fototoksyczne lub fotoalergiczne, dlatego, zgodnie z pkt 4. tabeli 4.1, aspekt ten powinien być rozpatrywany przy ocenie ryzyka. Nie ma ustalonych wartości MDE dla tego typu przypadków. W razie stwierdzenia obecności substancji fotouczulających w powietrzu lub na powierzchniach stanowiska pracy przy jednoczesnym narażeniu na nadfiolet, zwłaszcza z zakresu UVA, należy przyjąć większy poziom ryzyka zawodowego. Aby ograniczyć ryzyko, należałoby wprowadzić zmiany organizacyjne, takie jak eliminacja lub ograniczenie środków fotouczulających w środowisku pracy,

skrócenie czasu ekspozycji na nadfiolet, oddalenie miejsca przebywania pracownika od źródła promieniowania, lub zmiany techniczne, np. zastosowanie środków ochrony zbiorowej oraz środków ochrony indywidualnej oczu i skóry. Przykłady różnych substancji fotouczulających, które występują w środowisku pracy, przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Przykłady substancji fotouczulających w środowisku pracy

Przykłady preparatów chemicznych stosowanych w przemyśle	
▶	Farby drukarskie zawierające kwas amylo-o-dimetyloaminobenzoesowy
▶	Środki do impregnacji drewna, smoły, asfalty zawierające wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (głównie antracen, fenantren)
▶	Barwniki na bazie antrahinonu: benzoantron, dyspersja Blue 35

4.2.2.4. Skutki pośrednie mające wpływ na bezpieczeństwo pracowników

Zgodnie z pkt 5. tabeli 4.1, przy ocenie ryzyka na promieniowanie optyczne wśród skutków pośrednich mających wpływ na bezpieczeństwo pracowników powinno być brane pod uwagę zagrożenie wybuchem, pożarem oraz olśnieniem.

Ocena ryzyka ze względu na wystąpienie pożaru lub wybuchu przy eksploatacji źródeł promieniowania optycznego może być wykonana tylko na podstawie ustalenia, czy w środowisku wybuchowym lub w strefach zagrożonych pożarem (np. w lakierniach, galwanizerniach, zakładach farmaceutycznych, spirytusowych, chemicznych i petrochemicznych) zostały podjęte odpowiednie środki bezpieczeństwa. Odnosi się to do stosowania źródeł promieniowania w oprawach przeciwwybuchowych, oznaczonych symbolem „Ex” i, w zależności od stwierdzonych faktów, przyjęcia odpowiedniego poziomu ryzyka.

Zagrożenie pożarem może występować również przy eksploatacji niektórych technologicznych źródeł promieniowania (np. podczas spawania elektrycznego, przy rozlewaniu lub spuszczeniu rozgrzanego metalu czy masy szklarskiej) lub przy eksploatacji laserów klasy 4, jeśli jest możliwość emisji promieniowania laserowego w wolną przestrzeń, a w otoczeniu źródeł znajdują się przedmioty łatwopalne (np. środki opatrunkowe). Wtedy zgodnie ze stwierdzonym stanem faktycznym przyjmuje się odpowiedni stopień ryzyka.

Olśnienie jako czynnik zagrożenia w środowisku pracy występuje tylko w przypadku ekspozycji oczu na źródła promieniowania widzialnego o bardzo wysokiej luminancji. Olśnienie może być przyczyną pośrednią wypadków przy pracy lub może powodować zmniejszenie zdolności spostrzegania i zmęczenie wzroku [1]. Rozpatrując pośrednie skutki, jakie dla bezpieczeństwa pracowników może powodować olśnienie, należy uwzględnić olśnienia przeszkadzające i oślepiające, czyli takie, które ograniczają zdolność spostrzegania lub nawet widzenia na krótki, ale zauważalny czas. W zależności od stopnia odczuwanego olśnienia wyznacza się odpowiedni poziom ryzyka zawodowego.

4.2.2.5. Klasa lasera lub podobna klasyfikacja źródeł promieniowania, mogących spowodować zagrożenia porównywalne z laserem klasy 3B i 4

W przypadku urządzeń laserowych nie zawsze zachodzi konieczność wyznaczania poziomu ekspozycji, gdyż nierzadko promieniowanie to albo jest całkowicie osłonięte obudową urządzenia (np. drukarki laserowe, czytniki płyt CD w komputerach) albo nie stanowi o zagrożeniu dla zdrowia (np. czytniki kodów). O tym, czy dany laser jest bezpieczny w użytkowaniu, mówi jego klasa bezpieczeństwa. Lasery dzieli się na siedem klas (1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4), a każdej z klas odpowiada opis umożliwiający jej zidentyfikowanie (zgodnie z normą PN-EN 60825-1 [19]). Lasery klasy 1 są najbezpieczniejsze dla użytkownika, lasery klasy 4 stwarzają największe zagrożenie i przy ich obsłudze należy stosować szczególne środki bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami §3.4.3 rozporządzenia [7] nie ma potrzeby ustalania poziomu ekspozycji na promieniowanie laserowe dla laserów klas od 1 do 3R (jeśli użytkowane są zgodnie z warunkami określonymi przez producenta). Natomiast jeśli w danym urządzeniu z ww. klas bezpieczeństwa zdemontowano osłony lub wprowadzono elementy optyczne w tor wiązki, albo jest ono użytkowane niezgodnie z zaleceniami producenta, wówczas narażenie może być większe niż wynika to z klasy urządzenia i konieczna jest ocena poziomu ekspozycji. W przypadku laserów niebezpiecznych zaliczonych dla klasy 3B lub 4 należy określić poziom ekspozycji pracownika na promieniowanie laserowe odbite lub rozproszone, i na tej podstawie wyznaczyć poziom ryzyka.

Zapis mówiący o uwzględnieniu przy ocenie ryzyka klasyfikacji źródeł promieniowania mogących spowodować zagrożenia porównywalne z laserem 3B i 4 (pkt 9. tabeli 4.1) oznacza, że w pewnych szczególnych warunkach również lasery należące do klas odpowiadających mniejszemu zagrożeniu (klasy od 1 do 3R) mogą wymagać oceny. Ponadto norma PN-EN 62471 [20] stosuje inną klasyfikację do źródeł nielaserowego promieniowania optycznego, w którym promienniki należące do grupy ryzyka 3 należy zawsze oceniać, ale uwagę należy zwrócić również na scenariusze narażenia w przypadku grup mniejszego ryzyka.

Uwaga

Więcej informacji dotyczących oceny ryzyka można znaleźć w rozdziale 5.

4.2.3. Unikanie lub ograniczanie ryzyka zawodowego

Na podstawie dokonanej oceny ryzyka zawodowego, uwzględniającej aspekty omówione w rozdziale 4.2.2, pracodawca określa niezbędne działania organizacyjno-techniczne zmniejszające to ryzyko (§4.4. rozporządzenia [7]). Jeżeli zachodzi możliwość wystąpienia poziomów ekspozycji przekraczających MDE, pracodawca opracowuje i wprowadza w życie program działań organizacyjno-technicznych zapobiegających ich przekroczeniu.

4.2.3.1. Program działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu wartości MDE

Głównym celem opracowywanego programu działań organizacyjno-technicznych jest niedopuszczenie do powstania przekroczeń wartości MDE na danym stanowisku pracy.

Na pierwszym miejscu należy rozważyć wyeliminowanie lub ograniczenie ryzyka „u źródła” (czyli w miejscu powstawania zagrożeń), stosując dostępne rozwiązania techniczne i postęp naukowo-techniczny (zgodnie z §5.1 rozporządzenia [7]). Jeśli pracodawca stwierdzi, że nie ma możliwości wprowadzenia innych metod lub procesów pracy, które ograniczyłyby ryzyko związane z promieniowaniem optycznym, to wówczas w opracowywanym programie działań wprowadza metody ograniczenia ryzyka zawodowego przedstawione w tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Co powinien zawierać program działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu wartości MDE

Lp.	Treść (zgodnie z §5.3 rozporządzenia [7])	Komentarz
1.	Wprowadzanie procesów lub metod pracy ograniczających ryzyko zawodowe związane z promieniowaniem optycznym	Zastosowanie takich metod wykonywania pracy lub zmiany procesu technologicznego, aby wyeliminować lub ograniczyć narażenie pracownika na promieniowanie optyczne Przykład: wprowadzenie automatyzacji procesu
2.	Dobór urządzeń przeznaczonych do wykonywania określonej pracy, o możliwie najniższej emisji promieniowania optycznego	Przykład: zastąpienie aktualnie stosowanego promiennika /urządzenia, innym, który będzie zapewniał prawidłowy przebieg procesów technologicznych i jednocześnie będzie charakteryzował się mniejszą emisją promieniowania
3.	Ograniczanie emisji promieniowania optycznego środkami technicznymi, w tym przez stosowanie, w przypadkach koniecznych, urządzeń ochronnych i innych środków ochrony zbiorowej (blokad, obudów, osłon, ekranów itp.)	Przykład: zastosowanie ekranów ochronnych i blokad bezpieczeństwa przy urządzeniach laserowych klasy 4, dzięki którym można zaklasyfikować urządzenie laserowe wraz z tymi środkami ochrony zbiorowej do klasy 1 (bezpiecznej)
4.	Konserwowanie urządzeń będących źródłem emisji promieniowania optycznego i ich wyposażenia, stosowanych urządzeń ochronnych i środków ochrony zbiorowej oraz miejsc i stanowisk pracy	Urządzenia i wyposażenie powinny być odpowiednio konserwowane, a ich stan techniczny powinien być sprawdzany z określoną przez pracodawcę częstotliwością przez wyznaczone do tego celu osoby, gdyż prawidłowość ich działania, parametry pracy i właściwości ochronne decydują o bezpieczeństwie pracownika
5.	Projektowanie miejsc pracy i rozmieszczanie stanowisk pracy w sposób umożliwiający izolowanie od źródeł promieniowania oraz ograniczający jednoczesną ekspozycję na promieniowanie optyczne emitowane przez wiele źródeł promieniowania	Jeśli w pomieszczeniu pracy jest wiele stanowisk, na których występuje ekspozycja na promieniowanie optyczne, to należy tak je usytuować, żeby pracownik na danym stanowisku nie był narażony na promieniowanie ze stanowiska sąsiedniego lub inne źródła tego promieniowania znajdujące się w pomieszczeniu
6.	Ograniczanie czasu trwania i poziomu ekspozycji	Jeśli tylko to możliwe, to zaleca się zwiększenie odległości miejsca przebywania pracownika od źródła promieniowania. W ten sposób można ograniczyć poziom ekspozycji. Drugim sposobem ograniczenia poziomu ekspozycji jest ograniczenie czasu ekspozycji pracownika przy wykonywaniu czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne

Tabela 4.4., cd.

Lp.	Treść (zgodnie z §5.3 rozporządzenia [7])	Komentarz
7.	Zapewnienie prawidłowo dobranych środków ochrony indywidualnej	<ul style="list-style-type: none"> • Środki ochrony indywidualnej powinny być dobierane przede wszystkim ze względu na ich parametry ochronne, tak aby odpowiednio tłumiły promieniowanie optyczne. Filtr danej ochrony oczu lub twarzy powinien być odpowiednio dobrany do rodzaju promieniowania (laserowe, nielaserowe), poziomu ekspozycji i długości fali promieniowania • Przy doborze środków zaleca się również zwrócenie uwagi na ich konstrukcję i wykonanie, tak aby były wygodne dla pracownika podczas ich stosowania. Przykład: gogle czy okulary ochronne, które są niewygodne lub zaparowują podczas ich noszenia, zwykle nie są stosowane przez pracowników lub są uszkodzone w wyniku działań zmierzających do poprawy wygody ich stosowania (np. wyłamywanie oston bocznych gogli) • Pracownicy z wadami wzroku, którzy do wykonywania czynności pracy muszą stosować okulary korekcyjne, powinni mieć ochrony oczu o konstrukcji umożliwiającej ich nałożenie na okulary korekcyjne lub ochrony z odpowiednio dobranymi szkłami korekcyjnymi
8.	Przestrzeganie instrukcji bezpiecznej obsługi sprzętu, zapobiegającej nadmiernym poziomom ekspozycji	<p>Każda instrukcja stanowiskowa powinna zawierać sposób bezpiecznej obsługi danego urządzenia lub sprzętu, uwzględniający zapobieganie nadmiernym poziomom ekspozycji</p> <p>Przykład: przy narażeniu na nadfiolet zapisanie w instrukcji stanowiskowej maksymalnego czasu ekspozycji w ciągu zmiany roboczej (wyznaczonego na podstawie oceny ryzyka - patrz rozdz. 7.), którego nie wolno przekraczać, gdyż skutkuje to przekroczeniem wartości MDE</p>

4.2.3.2. Oznakowanie miejsca pracy znakami bezpieczeństwa

Jeżeli w miejscu pracy może wystąpić poziom promieniowania przekraczający wartości MDE, pracodawca ma obowiązek:

- oznakowania go znakami bezpieczeństwa (zgodnie z obowiązującymi przepisami [7]),
- wydzielenia stref z tymi miejscami i, jeśli to możliwe technicznie, ograniczenia do nich dostępu.

Ważne

- Wzory znaków bezpieczeństwa stosowanych w odniesieniu do stanowisk z urządzeniami laserowymi znajdują się w normie PN-EN 60825-1 [19].
- Wzór znaku bezpieczeństwa dotyczący emisji promieniowania optycznego dla kategorii emisji maszyn znajduje się w normie PN-EN 12198-1 [16].

4.2.3.3. Działania w razie przekroczeń MDE

W razie stwierdzenia przekroczeń wartości MDE, pomimo podjętych środków zmierzających do ograniczenia poziomu ekspozycji, pracodawca:

- niezwłocznie podejmuje działania w celu obniżenia poziomu ekspozycji poniżej MDE,
- ustala przyczyny wystąpienia przekroczeń,
- dokonuje przeglądu działań określonych w opracowanym wcześniej programie działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu wartości MDE,
- wprowadza odpowiednie zmiany, uwzględniając porady lekarza sprawującego profilaktyczną opiekę zdrowotną,
- ponownie ocenia ryzyko zawodowe (po podjęciu działań obniżających poziom ekspozycji).

4.2.4. Informowanie i szkolenie pracowników

W ramach szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy pracodawca zatrudniający pracowników podlegających ekspozycji na promieniowanie optyczne zapewnia im **informacje o wynikach oceny ryzyka zawodowego**, w szczególności dotyczące (§9.1 rozporządzenia [7]):

- podjętych środków niezbędnych do wyeliminowania lub ograniczenia ryzyka zawodowego oraz okoliczności, w jakich takie środki należy stosować,
- wartości MDE i związanego z nimi potencjalnego ryzyka,
- wyników wyznaczonego poziomu ekspozycji, zagrożeń stwarzanych przez występujące w miejscu pracy promieniowanie optyczne oraz potencjalnych skutków dla zdrowia lub bezpieczeństwa pracowników,
- przyczyn powstawania chorób powodowanych ekspozycją na promieniowanie optyczne, ich objawów i sposobów wykrywania,
- profilaktycznych badań lekarskich oraz zagrożeń stwarzanych przez środki fotouczulające,
- bezpiecznych sposobów wykonywania pracy, ograniczających poziom ekspozycji do możliwie najmniejszej wartości,
- prawidłowego stosowania odpowiednio dobranych środków ochrony indywidualnej.

Ważne

- Pracownicy zatrudnieni na stanowiskach, gdzie występują przekroczenia MDE, a ryzyko jest ograniczone do małego poprzez stosowanie odpowiednio dobranych środków ochrony indywidualnej, powinni być wyraźnie poinformowani o konieczności stosowania tych ochron przez cały czas narażenia na promieniowanie optyczne. Zaleca się tutaj wprowadzenie odpowiednich procedur organizacyjnych, które zapewniłyby:
 - bezwzględne przestrzeganie noszenia ochron,
 - dostępność zapasowych egzemplarzy ochron, na wypadek uszkodzenia posiadanej ochrony,
 - sprawdzanie stanu ochron (uszkodzenia mechaniczne, duże zabrudzenia itp.).
- Szczególnie należy zwrócić uwagę na sposób użytkowania przyłbic spawalniczych przez spawaczy. Wskazane jest bezwzględne przestrzeganie zakazu rozpoczynania spawania łukiem elektrycznym przy odsłoniętej przyłbicy, gdyż często nawet tak krótki czas wystarcza, aby zostały przekroczone wartości MDE.

4.2.5. Współpraca pracodawcy z lekarzem sprawującym profilaktyczną opiekę medyczną

4.2.5.1. Przekazywanie informacji lekarzowi

Oprócz zapewnienia pracownikom profilaktycznej opieki zdrowotnej, zgodnie z przepisami rozporządzenia [9], pracodawca zobowiązany jest do przekazania, lekarzowi sprawującemu profilaktyczną opiekę medyczną, informacji dotyczących występowania w środowisku pracy substancji fotouczulających w sytuacji jednoczesnej ekspozycji pracownika na promieniowanie nadfioletowe. Dzięki temu lekarz może przeprowadzić badania ukierunkowane na diagnostykę ewentualnych fotodermatoz.

4.2.5.2. Reagowanie na informacje uzyskane od lekarza

W sytuacji, gdy w wyniku przeprowadzonych badań profilaktycznych lekarz stwierdził chorobę lub inne niekorzystne dla pracownika skutki zdrowotne, które mogły być spowodowane ekspozycją na promieniowanie optyczne, pracodawca (§10.3):

- ponownie ocenia ryzyko zawodowe,
- dokonuje przeglądu działań określonych w opracowanym wcześniej programie działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu wartości MDE,
- wprowadza odpowiednie zmiany, uwzględniając porady lekarza sprawującego profilaktyczną opiekę zdrowotną nad pracownikami.

Ważne

Wymiana informacji między pracodawcą a lekarzem sprawującym opiekę medyczną jest bardzo istotna. Dzięki temu można szybko reagować na niepokojące objawy zdrowotne u pracownika, mogące wynikać z ekspozycji na promieniowanie optyczne i sprawdzić, czy na stanowisku pracy doszło do przekroczenia MDE lub wcześniej wykrywać wszelkie początkowe objawy chorób związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne.

4.3. Rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [8], w załączniku nr 2 „Wykaz wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy” część D, określa nowe wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie optyczne zgodnie z załącznikami do dyrektywy 2006/25/WE [3]. Omówienie i przykłady wyznaczenia wartości MDE przedstawiono w rozdziale 6.

4.4. Rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [10] określa:

- tryb, metody i częstotliwość wykonywania pomiarów,
- wymagania, jakie powinny spełniać laboratoria wykonujące badania i pomiary,
- sposób rejestrowania i przechowywania wyników badań i pomiarów,
- wzory dokumentów oraz sposób udostępniania wyników badań i pomiarów pracownikom.

Zgodnie z ww. rozporządzeniem, badania i pomiary promieniowania optycznego nielaserowego wykonuje się, jeżeli są eksploatowane źródła tego **promieniowania inne niż źródła światła służące do oświetlania pomieszczeń lub stanowisk pracy, stosowane w przeznaczonych dla nich oprawach oświetleniowych oraz w odpowiedniej odległości od ekspozycyjnych części ciała** (patrz wyjaśnienie w rozdziale 4.2.1).

Częstość wykonywania badań promieniowania optycznego nielaserowego określa się w zależności od krotności maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE), które wykonuje się:

- co najmniej raz na dwa lata – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono poziom ekspozycji powyżej 0,4 do 0,7 wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE),
- co najmniej raz w roku – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono poziom ekspozycji powyżej 0,7 wartości MDE.

W przypadku promieniowania laserowego pracodawca nie rozpatruje promieniowania optycznego jako czynnika szkodliwego dla zdrowia w środowisku pracy, jeżeli w trakcie eksploatacji źródła promieniowania zgodnej z jego przeznaczeniem poziom ekspozycji nie przekracza 0,4 wartości MDE, a w szczególności, jeżeli:

- eksploatuje lasery klasy 1, 1M, 2, 2M lub 3R zgodnie z wymaganiami określonymi przez producenta urządzenia, lub
- eksploatuje lasery klasy 3B lub 4, do których zostały zastosowane środki ochrony zbiorowej, pozwalające na zaklasyfikowanie urządzenia do klasy 1.

Częstość wykonywania badań promieniowania optycznego laserowego określa się w zależności od krotności maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE), które wykonuje się:

- co najmniej raz na dwa lata – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono poziom ekspozycji powyżej 0,4 do 0,8 wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE),
- co najmniej raz w roku – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono poziom ekspozycji powyżej 0,8 wartości MDE.

Jeżeli podczas dwóch ostatnich badań i pomiarów promieniowania optycznego (nielaserowego lub laserowego), wykonanych w odstępie dwóch lat, poziom ekspozycji nie przekraczał 0,4 wartości MDE, pracodawca może odstąpić od wykonywania pomiarów. Jednakże warunkiem jest, że w procesie pracy lub technologicznym nie wystąpiły zmiany, które mogłyby wpłynąć na poziom ekspozycji.

Ważne

Zgodnie z §17.2 omawianego rozporządzenia pracodawca niezwłocznie informuje pracowników narażonych na promieniowanie optyczne o aktualnych wynikach badań i pomiarów oraz udostępnia im te wyniki i wyjaśnia ich znaczenie.

4.5. Rozporządzenie w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy [9] określa:

- zakres i częstotliwość badań lekarskich wstępnych i okresowych osobno dla promieniowania nielaserowego: UV, VIS i IR oraz dla promieniowania laserowego,
- obowiązki lekarza sprawującego opiekę zdrowotną; w przypadku, gdy pracownicy wykonują prace w warunkach przekroczeń MDE na promieniowanie optyczne oraz w przypadku gdy w wyniku badań lekarskich stwierdzono chorobę lub niekorzystne dla zdrowia skutki, które w opinii lekarza są wynikiem narażenia na promieniowanie optyczne w pracy, lekarz sprawujący opiekę zdrowotną:
 - zawiadamia pracowników o wynikach badań lekarskich oraz informuje, jakim badaniom powinni się poddać po ustaniu narażenia na promieniowanie optyczne,
 - dokonuje okresowych analiz wyników kontroli zdrowia pracowników oraz informuje pracodawcę o wynikach tych analiz z uwzględnieniem tajemnicy lekarskiej.

Ważne

Istotne jest przekazywanie przez lekarza sprawującego opiekę zdrowotną zbiorczych informacji wynikających z analiz zdrowia pracowników zatrudnionych w narażeniu na promieniowanie optyczne. Jeśli wyniki tych analiz mogą wskazywać na przekroczenia MDE, wówczas pracodawca ma obowiązek dokonać ponownej analizy ryzyka i podjąć środki ograniczające to ryzyko.

4.6. Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionym młodocianym

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [12], w załączniku 1. pkt II.3 „Prace w narażeniu na szkodliwe działanie czynników fizycznych”, określa prace wzbronione młodocianym, do których zalicza się:

- prace w warunkach narażenia na promieniowanie laserowe,
- prace w warunkach narażenia na promieniowanie nadfioletowe, zwłaszcza emitowane przez technologiczne urządzenia przemysłowe, w tym w szczególności przy spawaniu, cięciu i napawaniu metali,
- prace w warunkach narażenia na promieniowanie podczerwone, w tym w szczególności przy piecach hutniczych i grzewczych oraz spiekaniu, odlewaniu, walcowaniu i kuciu metali.

Natomiast w załączniku 2. pkt II.3 „Prace w narażeniu na szkodliwe działanie czynników fizycznych” określa wykaz niektórych rodzajów prac wzbronionym młodocianym, lecz przy których zezwala się na zatrudnienie młodocianych w wieku powyżej 16 lat, co w przypadku narażenia na promieniowanie optyczne dotyczy:

- chłopców w wieku powyżej 17 lat, którzy **mogą wykonywać prace przy spawaniu, cięciu i stapianiu metali** (z wyłączeniem spawania metali kolorowych oraz spawania wewnątrz zbiorników i pod wodą), **pod warunkiem, że wykonywane są nie dłużej niż 3 godziny na dobę oraz 60 godzin w całym okresie szkolenia i pod nadzorem nauczycieli zawodu,**
- chłopców przy obsłudze maszyn i urządzeń hutniczych, przy czym na wydziałach stalowni, walcowni i wielkich pieców czas zajęć nie może przekraczać 2 godzin na dobę,
- chłopców powyżej 17 lat, którzy mogą uczestniczyć przy formowaniu wyrobów z masy szklanej, z wyłączeniem wydmuchiwania ustnego,
- przy wytwarzaniu wyrobów ceramicznych.

4.7. Rozporządzenie w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet [11] określa, w wykazie prac wzbronionych

kobietom, w odniesieniu do kobiet w ciąży **ograniczenie wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji do ¼ wartości MDE** w przypadku narażenia na promieniowanie nadfioletowe, określonych w rozporządzeniu o NDS i NDN [8].

Dla pozostałych zakresów promieniowania optycznego nie wprowadza żadnych zmian MDE.

4.8. Rozporządzenie w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy

Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy [5] określa:

- szczegółowe zasady szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy, zwanego dalej „szkoleniem”,
- zakres szkolenia,
- wymagania dotyczące treści i realizacji programów szkolenia,
- sposób dokumentowania szkolenia,
- przypadki, w których pracodawcy lub pracownicy mogą być zwolnieni z określonych rodzajów szkolenia.

Rozporządzenie to określa ogólne zasady organizacji i zakresu szkoleń wstępnych, okresowych oraz instruktażu stanowiskowego. Zapisy §9.1 rozporządzenia w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne [7] (przedstawione w rozdziale 4.2) uszczegółwiają, jaki zakres informacji powinien być przekazany pracownikowi.

Literatura

1. Wolska A.: *Glare as a specific risk factor in working conditions*. Przegląd Elektrotechniczny 2013, R. 89 nr 1a, 142-144.
2. *Dyrektywa Rady 89/391 EWG z dnia 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków w celu poprawy bezpieczeństwa i zdrowia pracowników w miejscu pracy*. [Dyrektywa ramowa]. Dz. Urz. UE nr L 183/1 26.06.1989.
3. *Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 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. 16.1 dyrektywy 89/391/EWG). Dz. Urz. UE nr L 114 27.04.2006.*
4. *Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy. DzU 1998, nr 21, poz. 94, ze zmianami.*
 5. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU 2004, nr 180, poz. 1860; 2005 nr 116, poz. 972; 2007, nr 196, poz. 1420.*
 6. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU 2003, nr 169, poz. 1650; 2007, nr 49, poz. 330; 2008, nr 108, poz. 690; 2011, nr 173, poz. 1034.*
 7. *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; 2012, poz. 787.*
 8. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2010, nr 141, poz. 950.*
 9. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU 2010, nr 240, poz.1611.*
 10. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz.166.*
 11. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet. DzU 1996, nr 114, poz. 545; 2002, nr 127, poz. 1092.*
 12. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbudzających u młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU 2004, nr 200, poz. 2047; 2005, nr 136, poz. 1145; 2006, nr 107, poz. 724.*
 13. *PN-EN 207 Ochrona indywidualna oczu – Filtry i ochrony oczu chroniące przed promieniowaniem laserowym.*
 14. *PN-EN 208 Ochrona indywidualna oczu – Ochrony oczu do pracy justacyjnej na laserach i systemach laserowych (ochrony oczu do justowania laserów).*
 15. *PN-EN 379 Ochrona indywidualna oczu – Automatyczne filtry spawalnicze.*
 16. *PN-EN 12198-1 Bezpieczeństwo maszyn – Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny – Cz. 1.: Zasady ogólne.*
 17. *PN-EN 12464-1 Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Cz. 1.: Miejsca pracy we wnętrzach.*
 18. *PN-EN 12464-2 Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Cz. 2.: Miejsca pracy na zewnątrz.*

19. PN-EN 60825-1:2010 *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych – Cz. 1.: Klasyfikacja sprzętu i wymagania.*
20. PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.*
21. PN-T-06589 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.*

5. Zarządzanie ryzykiem

Zakres czynników, które powinny być uwzględniane podczas oceny ryzyka określa *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* [2]. Czynniki te omówiono w rozdziale 4.2.2.

Praktycznie zarządzanie ryzykiem związanym z ekspozycją na promieniowanie optyczne składa się z następujących kroków:

- krok 1.: identyfikacja źródeł promieniowania i osób narażonych,
- krok 2.: szacowanie ryzyka i wyznaczanie jego dopuszczalności,
- krok 3.: wybór działań ograniczających ryzyko,
- krok 4.: podjęcie działań,
- krok 5.: monitorowanie i dokonywanie przeglądów.

5.1. Krok 1. Identyfikacja źródeł promieniowania i osób narażonych

Cykl życia źródła:

1. Produkcja.
2. Badania.
3. Montaż.
4. Planowanie i projekt.
5. Uruchomienie.
6. Normalne działanie.
7. Tryby awaryjne.
8. Bieżąca konserwacja.
9. Serwisowanie.
10. Zmiany.
11. Demontaż.

Należy zidentyfikować wszystkie źródła promieniowania optycznego. W przypadku niektórych źródeł należy rozważyć, w jaki sposób pracownicy mogą być ekspozycyjni w ciągu całego cyklu życia źródła. Przykładowo, pracownicy zatrudnieni przy produkcji źródeł promieniowania mogą być bardziej narażeni na promieniowanie optyczne niż ich późniejsi użytkownicy (np. przy wyświetlaniu lub sprawdzaniu wyprodukowanych źródeł światła na taśmie produkcyjnej). Zazwyczaj narażenie na promieniowanie optyczne występuje, gdy dane urządzenie normalnie działa i oczywiste jest ocenianie ryzyka przy jego normalnym działaniu. Pracodawca powinien jednak sprawdzić, czy pracownicy mogą być narażeni na promieniowanie optyczne przez nie emitowane na innych etapach życia źródła. Przykładem może być czynność wykonywania justowania wiązki lasera, którą można zaliczyć do etapu życia: 5 – *uruchomienie* lub 10 – *zmiany*.

W ramach kroku 1. należy:

- ▶ określić wszystkie źródła promieniowania optycznego, które występują w danym przedsiębiorstwie,
- ▶ zidentyfikować źródła, które można zaliczyć do nieistotnych,
- ▶ zidentyfikować źródła, które stanowią potencjalne zagrożenie dla pracowników,
- ▶ określić etapy życia źródła, przy których może być narażenie pracowników,
- ▶ określić stanowiska pracy, na których pracownicy mogą być narażeni na promieniowanie emitowane przez te źródła.

5.2. Krok 2. Szacowanie ryzyka i wyznaczenie jego dopuszczalności

Dla wszystkich źródeł, które zidentyfikowano w ramach kroku 1. jako stanowiące potencjalne zagrożenie, należy określić scenariusze narażenia. Oznacza to wytypowanie stanowisk pracy, na których pracownicy są narażeni na promieniowanie optyczne na każdym etapie życia źródła. Dla tych przypadków dokonuje się oceny ryzyka ze względu na poziom ekspozycji, która polega na określeniu poziomu ekspozycji pracownika i porównaniu go z wartościami MDE.

Dysponując wynikami oceny ryzyka ze względu na poziom promieniowania, należy przeprowadzić szczegółową ocenę ryzyka i uwzględnić następujące czynniki, które mogą wpłynąć na poziom ryzyka:

- występowanie wielu źródeł promieniowania na stanowisku pracy,

Uwaga

- Jeśli **ocena poziomu ekspozycji opierała się na pomiarze**, wówczas wartości poziomów ekspozycji wyznaczonych na podstawie pomiaru natężenia napromienienia lub napromienienia uwzględniają promieniowanie padające na daną część ciała pracownika od wszystkich źródeł. W przypadku oceny zagrożenia siatkówki należy sprawdzić, czy w pomiarach uwzględniono wszystkie istotne źródła promieniowania i wyznaczono dla nich skuteczne luminancje energetyczne.
- Jeśli **ocena poziomu ekspozycji opierała się na obliczeniach lub danych producenta**, wówczas należy sprawdzić, czy wartości poziomów ekspozycji były wyznaczone z uwzględnieniem wszystkich istotnych źródeł promieniowania.

- występowanie grup szczególnego ryzyka (młodociani, kobiety w ciąży, osoby ze stwierdzonymi schorzeniami powodującymi nadwrażliwość na promieniowanie optyczne, osoby przyjmujące środki fotouczulające),

Uwaga

- Jeśli na stanowisku zatrudnieni są młodociani, należy zastosować się do ograniczeń w zatrudnianiu młodocianych wynikających z *Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac* [5].
- Jeśli ekspozycja dotyczy kobiet w ciąży narażonych na promieniowanie UV, wówczas, zgodnie z *Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet* [4], wartości MDE są 4-krotnie mniejsze.
- Jeśli na stanowisku, na którym występuje narażenie na nadfiolet (zwłaszcza UVA), zatrudnione są osoby ze stwierdzonymi schorzeniami powodującymi nadwrażliwość na to promieniowanie, to poziom ekspozycji pracownika powinien być maksymalnie ograniczony, zarówno w odniesieniu do poziomu promieniowania jak i czasu ekspozycji. Nie można w tym przypadku przyjąć, że ryzyko jest małe, jeśli poziom ekspozycji nie przekracza MDE.
- Jeśli na stanowisku występuje narażenie na nadfiolet (zwłaszcza UVA), to pracownicy na nim zatrudnieni powinni zwracać uwagę, czy przyjmowane środki farmakologiczne nie są fotouczulające. W razie konieczności przyjmowania takich środków przez wydłużony czas (np. leków stosowanych w chorobach układu krążenia) powinni poinformować o tym fakcie zwierzchnika. Wówczas poziom ekspozycji pracownika powinien być maksymalnie ograniczony, zarówno w odniesieniu do poziomu promieniowania jak i czasu ekspozycji. Informacje dotyczące fotodermatoz i substancji fotouczulających przedstawiono w rozdziale 4.2.

- występowanie substancji fotouczulających w środowisku pracy,

Uwaga

- Nadwrażliwość mogą spowodować również niektóre substancje chemiczne występujące w środowisku pracy wykazujące się tzw. działaniem fototoksycznym. Występowanie takich substancji przy jednoczesnej ekspozycji na promieniowanie UV (zwłaszcza UVA) może spowodować reakcje fototoksyczne lub fotoalergiczne. Informacje dotyczące substancji fotouczulających występujących w przemyśle przedstawiono w rozdziale 4.2.
- W takich sytuacjach poziom ekspozycji pracownika na promieniowanie optyczne jak i substancje fotouczulające w środowisku powinien być maksymalnie ograniczony, zarówno w odniesieniu do poziomu promieniowania i ilości substancji chemicznych wykrytych w środowisku pracy jak i czasu ekspozycji.

- uwzględnienie skutków pośrednich mających wpływ na bezpieczeństwo pracowników (zagrożenie pożarem lub wybuchem, zagrożenie oślnieniem).

Uwaga

- Zagrożenie wybuchem powinno być uwzględniane przy eksploatacji źródeł promieniowania optycznego w środowisku wybuchowym lub strefach zagrożonych pożarem (np. lakiernie, galwanizernie, zakłady spirytusowe czy farmaceutyczne).
- Zagrożenie pożarem powinno być uwzględniane przy eksploatacji niektórych źródeł promieniowania optycznego, takich jak: lasery klasy 4, łuk lub płomień spawalniczy, płynny metal lub szkło.
- Zagrożenie oślnieniem występuje w przypadku ekspozycji oczu na źródła światła o dużej luminancji. Szczególnym zagrożeniem jest możliwość występowania oślnienia przeszkadzającego lub oślepiającego, które może występować na stanowiskach pracy, a zmierzone wartości poziomu ekspozycji dla zagrożenia siatkówki oka są poniżej wartości MDE. Wówczas należy podjąć środki profilaktyczne w celu ograniczenia oślnienia.

Ostatnim etapem oceny ryzyka jest określenie poziomu ryzyka ze względu na wszystkie rozważane czynniki i sformułowanie wniosków odnośnie do dopuszczalności stwierdzonego ryzyka. **Jeśli ryzyko jest duże, należy podjąć natychmiastowe działania ograniczające to ryzyko – krok 3.**

Więcej informacji dotyczących metody i kryteriów oceny ryzyka zawodowego przy ekspozycji na nielaserowe promieniowanie optyczne i promieniowanie laserowe można znaleźć w monografii pt. Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny, pod red. W.M. Zawieski, Warszawa, CIOP-PIB, 2007.

W ramach kroku 2. należy określić:

- ▶ scenariusze narażenia, dla których należy dokonać oceny ryzyka,
- ▶ poziomy ekspozycji dla wybranych scenariuszy narażenia i porównać je z MDE,
- ▶ dokonać szczegółowej oceny ryzyka, uwzględniając wszystkie czynniki, które mogą wpłynąć na poziom ryzyka,
- ▶ sformułować wnioski dotyczące dopuszczalności ryzyka,
- ▶ poinformować pracowników o wyniku oceny ryzyka.

5.3. Krok 3. Wybór działań ograniczających ryzyko

Istnieje hierarchizacja działań ograniczających ryzyko, która przy doborze odpowiednich środków powinna być brana pod uwagę [1]:

1. Usunięcie zagrożenia.
2. Zastąpienie przez mniej niebezpieczny proces lub urządzenie.
3. Środki techniczne.
4. Środki administracyjne.
5. Środki ochrony indywidualnej.

Ad 1. Usunięcie zagrożenia

W celu określenia, czy dane zagrożenie można usunąć, należałoby odpowiedzieć na pytania:

- Czy dane źródło promieniowania musi być stosowane?
- Czy dane źródło musi być włączone podczas wykonywania danej czynności przez pracownika?

Ad 2. Zastąpienie przez mniej niebezpieczny proces lub urządzenie

W celu określenia, czy dane źródło można zastąpić przez mniej niebezpieczny proces lub urządzenie, należałoby odpowiedzieć na pytania:

- Czy ze względów technologicznych dane źródło można zastąpić innym, które emituje mniejszy poziom promieniowania?
- Czy dany proces technologiczny można zastąpić innym, w którym pracownik nie będzie musiał być narażony na promieniowanie danego źródła (np. automatyzacja procesu)?

Ad 3. Środki techniczne

W celu określenia środków technicznych należałoby odpowiedzieć na pytanie, czy można ograniczyć promieniowanie u źródła lub poprzez zastosowanie środków ochrony zbiorowej.

Do środków technicznych ograniczających narażenie zalicza się: obudowy ochronne, ekrany ochronne, blokady bezpieczeństwa, wyłączniki o opóźnionym działaniu, zdalne sterowanie, wzierniki i okienka z filtrami ochronnymi, tłumiki wiązki, osprzęt do justowania wiązki laserowej, sygnały ostrzegawcze i dźwiękowe.

Ponadto należy tak zaprojektować stanowisko pracy i jego wyposażenia, aby nie występowały odbicia kierunkowe promieniowania w strefie przebywania pracownika.

Ad 4. Środki administracyjne

Do środków administracyjnych zalicza się:

- procedury/programy działań organizacyjno-technicznych zapobiegających przekroczeniu MDE,
- prawidłowość oznakowania miejsca pracy/urządzenia znakami bezpieczeństwa,
- oddalenie miejsca przebywania pracownika od źródła promieniowania,
- przekazywanie lekarzowi medycyny pracy wykonującemu badania profilaktyczne wyników oceny ryzyka zawodowego,
- analizowanie przekazanych przez lekarza medycyny pracy wyników badań profilaktycznych pod względem występowania schorzeń wynikających z ekspozycji na promieniowanie optyczne,
- szkolenie pracowników i informowanie ich o ryzyku zawodowym oraz podjętych środkach w celu jego ograniczenia.

Uwaga

- Przykładowy znak bezpieczeństwa, który powinien być umieszczony w miejscu pracy, gdzie występują możliwe przekroczenia poziomu ekspozycji na promieniowanie optyczne. Na przykład, na maszynie kategorii 1. umieszcza się ten znak i podpisuje: **Emisja promieniowania optycznego. Kategoria 1.**
- Przykładowy znak bezpieczeństwa, który powinien wskazywać aperturę wyjściową promieniowania na urządzeniu laserowym lub na drzwiach do pomieszczenia, gdzie znajdują się lasery klasy 3B lub 4:



Ad 5. Środki ochrony indywidualnej

Jeśli poziom ekspozycji pracownika nie może być ograniczony wymienionymi wcześniej środkami technicznymi i administracyjnymi, wówczas należy zastosować środki ochrony indywidualnej.

Środki ochrony indywidualnej powinny:

- odpowiednio ograniczać istniejące ryzyko,
- nie zwiększać istniejącego ryzyka,
- uwzględniać wymagania ergonomii i stan zdrowia pracownika.

Celem środków ochrony indywidualnej jest ograniczenie promieniowania optycznego do poziomu, który nie wywołuje niekorzystnych dla zdrowia skutków, czyli poniżej wartości MDE.

Do podstawowych środków ochrony indywidualnej przed promieniowaniem optycznym zalicza się:

- środki ochrony oczu (okulary, gogle ochronne),
- środki ochrony oczu i twarzy (tarcze lub przyłbice, osłony twarzy),
- odzież ochronna,
- rękawice ochronne,
- obuwie ochronne.

Ochrona oczu

Szczególne znaczenie ma zapewnienie właściwej ochrony oczu. W przypadku nielaserowego promieniowania optycznego tłumienie promieniowania przez filtr powinno być większe niż wyznaczona z pomiarów krotność MDE (k).

Uwaga

Współczynnik tłumienia ochron przed nielaserowym promieniowaniem optycznym można określić na podstawie:

- normy PN-T-06589:2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy* lub
- oznakowania zastosowanego filtra (zwłaszcza, jeśli chodzi o filtry spawalnicze).

W przypadku obsługi urządzeń laserowych filtry ochronne w goglach dobiera się na podstawie parametrów wiązki promieniowania laserowego i trybu pracy lasera.

Ważne

- Ochrona oczu powinna być wyraźnie oznaczona, z podaniem zakresu długości fal i poziomu ochrony (tłumienia). Jest to szczególnie ważne w przypadku filtrów chroniących przed promieniowaniem laserowym.
- Ochrona powinna umożliwić pracownikowi pełną widoczność w miejscu pracy (przepuszczalność światła > 20%) i rozpoznawanie barw (sprawdzenie, czy po założeniu ochrony rozpoznawalne są znaki bezpieczeństwa i lampki kontrolne).
- Ochrony oczu należy przechowywać w prawidłowy sposób, regularnie czyścić i poddawać okresowej kontroli jakości (np. czy są nieuszkodzone).

Ochrona skóry

Najczęściej zagrożonymi obszarami skóry przy ekspozycji na promieniowanie optyczne są ręce, twarz, głowa i szyja. Inne części ciała są zwykle zakryte odzieżą. Dłonie można chronić rękawicami o odpowiednim współczynniku tłumienia, natomiast twarz – odpowiednimi osłonami, tarczami lub przyłbicami. Występują też ochrony głowy, które jednocześnie chronią szyję (np. stosowane w hutnictwie).

Program działań organizacyjno-technicznych, zgodnie z obowiązującymi przepisami, przedstawiono w tabeli 4.4 w rozdziale 4.2.3.

W ramach kroku 3. należy określić:

- ▶ wybór właściwego działania ograniczającego ryzyko,
- ▶ udokumentowane uzasadnienie tego wyboru.

5.4. Krok 4. Podjęcie działań

Po ustaleniu działań ograniczających ryzyko należy te działania jak najszybciej wprowadzić w życie. Jeśli stwierdzono ryzyko duże, to praca może być kontynuowana tylko wtedy, jeśli ryzyko jest odpowiednio ograniczone, tak aby poziomy ekspozycji nie przekraczały wartości MDE. Pracownicy powinni być poinformowani o planowanych oraz wprowadzonych środkach ochrony.

W ramach kroku 4. należy:

- ▶ określić, czy praca musi być wstrzymana przed wprowadzeniem środków ograniczających ryzyko,
- ▶ wdrożyć działania ograniczające ryzyko,
- ▶ powtórnie ocenić ryzyko zawodowe,
- ▶ poinformować pracowników o przyczynie i rodzaju wprowadzonych środków ograniczających ryzyko.

5.5. Krok 5. Monitorowanie i dokonywanie przeglądów

W zakres monitorowania warunków pracy wchodzi dokonywanie pomiarów poziomu ekspozycji z częstotliwością określoną w *Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [3]. Ponad-

to wskazane jest przeprowadzanie okresowych przeglądów. Jeśli w wyniku takiego przeglądu stwierdzi się, że zmieniło się źródło lub warunki narażenia (inna odległość, czas ekspozycji itp.), to należy powtórnie dokonać oceny ryzyka i określić, czy konieczne jest zastosowanie dodatkowych środków ochrony.

Ważne jest określenie, czy ocena ryzyka jest właściwa i zastosowane środki ograniczające ryzyko skuteczne. W tym celu należy np. analizować wyniki badań lekarskich pod kątem ewentualnie stwierdzonych chorób związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. Jeśli takie przypadki miały miejsce, wówczas należy powtórnie wykonać ocenę ryzyka.

Pracownicy mogą nie wiedzieć, że są szczególnie wrażliwi na światło i dopiero w wyniku ekspozycji zawodowej ta wrażliwość może się objawić. Wówczas należy dla takiego pracownika dokonać powtórnej oceny ryzyka i ewentualnie zastosować dodatkowe środki ograniczające ryzyko.

W ramach kroku 5. należy określić:

- ▶ właściwy odstęp czasu dla kolejnych pomiarów poziomu ekspozycji zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*,
- ▶ właściwy odstęp czasu między bieżącymi przeglądami,
- ▶ czy wystąpiły nowe okoliczności (choroby, zmiana na stanowisku pracy, nowi pracownicy z grup szczególnego ryzyka) wskazujące na potrzebę wykonania ponownie oceny ryzyka,
- ▶ wnioski z przeglądów.

Literatura

1. 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>
2. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne*. DzU 2010, nr 100, poz. 643; 2012, poz. 787.
3. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. DzU 2011, nr 33, poz.166.
4. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet*. DzU 1996, nr 114, poz. 545; 2002, nr 127, poz. 1092.

5. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU 2004, nr 200, poz. 2047; 2005, nr 136, poz. 1145; 2006, nr 107, poz. 724.*
6. *PN-T-06589:2002 Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.*

6. Wyznaczanie wartości MDE

Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie optyczne zostały określone w części D załącznika 2. „Wykaz wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy” do *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [4]. Wartości MDE ustalono osobno dla promieniowania nielaserowego i laserowego.

6.1. Nielaserowe promieniowanie optyczne

6.1.1. Rodzaje rozpatrywanych zagrożeń dla zdrowia

W niniejszym rozdziale przedstawiono sposób wyznaczania wartości MDE przy ekspozycji na nielaserowe promieniowanie optyczne dla wszystkich rodzajów zagrożeń dla zdrowia powodowanych przez to promieniowanie.

Uwaga

Opis skutków szkodliwych dla zdrowia powodowanych przez promieniowanie optyczne można znaleźć na stronie internetowej CIOP-PIB w zakładce „Bezpieczniej”: <http://www.ciop.pl/26005.html>.

Zagrożenie nielaserowym promieniowaniem optycznym rozpatruje się dla zakresu długości fal 180 ÷ 3 000 nm. W zależności od składu widmowego promieniowania emitowanego przez dane źródło ocenia się następujące potencjalne zagrożenia dla zdrowia:

- zagrożenie fotochemiczne oczu oraz skóry promieniowaniem UV z zakresu 180 ÷ 400 nm (tzw. zagrożenie aktywnicze),
- zagrożenie fotochemiczne soczewki oka promieniowaniem UVA z zakresu 315 ÷ 400 nm,
- zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka światłem niebieskim z zakresu 300 ÷ 700 nm,
- zagrożenie termiczne siatkówki oka:
 - promieniowaniem VIS i IRA z zakresu 380 ÷ 1 400 nm, w przypadku gdy źródło promieniowania jest silnym bodźcem świetlnym, tj. luminancja świetlna źródła $L \geq 10\,000 \text{ cd/m}^2$ lub

- promieniowaniem IRA z zakresu 780 ÷ 1 400 nm, w przypadku gdy źródło promieniowania jest słabym bodźcem świetlnym, tj. luminancja świetlna źródła $L < 10\,000\text{ cd/m}^2$,
- zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka promieniowaniem IRA i IRB z zakresu 780 ÷ 3 000 nm,
- zagrożenie termiczne skóry promieniowaniem VIS, IRA i IRB z zakresu 380 ÷ 3 000 nm.

Uwaga

Dla danego zakresu długości fal emitowanych przez źródło może mieć zastosowanie kilka wartości MDE i zwykle jest ich **co najmniej dwie** (np. dla promienników UV). Dla źródeł emitujących promieniowanie optyczne w zakresie 180 ÷ 3 000 nm maksymalnie może ich być sześć.

Co należy wiedzieć przy wyborze odpowiedniej wartości MDE

- ▶ Jaki jest **zakres widmowy emisji** rozpatrywanego źródła promieniowania (UV, VIS, IR)?
- ▶ Jaki jest **jednorazowy czas ekspozycji** pracownika przy wykonywaniu danej czynności w narażeniu na to promieniowanie (np. na podstawie pomiarów stoperem lub danych technologicznych)?
- ▶ Jaki jest **całkowity czas ekspozycji** w ciągu zmiany roboczej (np. poprzez obliczenie iloczynu czasu jednorazowej ekspozycji i liczby ekspozycji w ciągu zmiany roboczej)? – Dotyczy oceny zagrożeń fotochemicznych.
- ▶ Jaki jest **kąt widzenia źródła promieniowania?** – Dotyczy tylko oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego siatkówki oka.

Ważne

- **Czas jednorazowej ekspozycji** stosuje się do wyznaczania MDE dla wszystkich zagrożeń termicznych oka i skóry.
- **Całkowity czas ekspozycji** stosuje się do wyznaczania MDE dla wszystkich zagrożeń fotochemicznych oka i skóry.
- **Czas ekspozycji** wyrażamy zawsze w sekundach (s).
- **Kąt widzenia źródła α** wyrażamy w miliradianach (mrad).

Przypadki, kiedy należy uwzględnić (zastosować podczas oceny) poszczególne zagrożenia dla zdrowia nielaserowym promieniowaniem optycznym, w zależności od różnych zakresów tego promieniowania emitowanego przez źródło, przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Zestawienie zakresu stosowalności poszczególnych zagrożeń dla różnych zakresów promieniowania optycznego

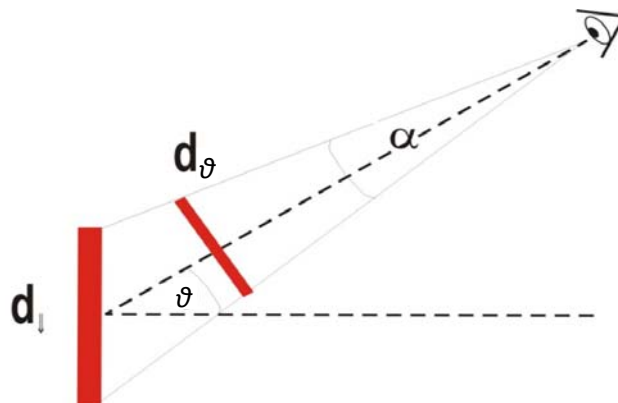
Nr	Nazwa zagrożenia	Zakres promieniowania nm	Część ciała	Uwagi	Stosowalność
1	Fotochemiczne oczu i skóry promieniowaniem UV (aktyczne)	180 ÷ 400 (UVA, UVB, UVC)	<ul style="list-style-type: none"> • oczy (rogówka i spojówka) • skóra 	wartości poziomu ekspozycji wyznaczone są z uwzględnieniem skuteczności aktycznej $S(\lambda)$	tak, jeśli źródło emituje promieniowanie UV
2	Fotochemiczne oczu promieniowaniem UVA	315 ÷ 400 (UVA)	oczy (soczewka)	–	tak, jeśli źródło emituje promieniowanie UVA
3	Fotochemiczne siatkówki oka światłem niebieskim	300 ÷ 700 (światło niebieskie)	oczy (siatkówka)	<ul style="list-style-type: none"> • wartości poziomu ekspozycji wyznaczone są z uwzględnieniem skuteczności aktycznej $B(\lambda)$ • konieczne jest określenie kąta widzenia źródła promieniowania (α) 	tak, jeśli: <ul style="list-style-type: none"> • źródło emituje światło niebieskie • pracownik podczas wykonywania czynności pracy widzi źródło promieniowania lub jego odbicie zwierciadlane
4a	Termiczne siatkówki oka (silny bodziec świetlny)	380 ÷ 1 400 (VIS i IRA)	oczy (siatkówka)	<ul style="list-style-type: none"> • wartości poziomu ekspozycji wyznaczone są z uwzględnieniem skuteczności aktycznej $R(\lambda)$ • konieczne jest określenie kąta widzenia źródła promieniowania (α) 	tak, jeśli: <ul style="list-style-type: none"> • źródło emituje promieniowanie VIS i IRA • luminancja świetlna źródła wynosi co najmniej 10 000 cd/m² • pracownik podczas wykonywania czynności pracy widzi źródło promieniowania lub jego odbicie zwierciadlane
4b	Termiczne siatkówki oka (słaby bodziec świetlny)	780 ÷ 1 400 (IRA)			tak, jeśli: <ul style="list-style-type: none"> • źródło emituje promieniowanie IRA • luminancja świetlna źródła jest poniżej 10 000 cd/m² • pracownik podczas wykonywania czynności pracy widzi źródło promieniowania lub jego odbicie zwierciadlane
5	Termiczne rogówki i soczewki oka	780 ÷ 3 000 (IRA, IRB)	oczy (rogówka i soczewka)	–	tak, jeśli źródło emituje promieniowanie IR
6	Termiczne skóry	380 ÷ 3 000 (VIS, IRA, IRB)	skóra	rozpatrywane dla czasów jednorazowej ekspozycji nieprzekraczających 10 s	tak, jeśli źródło emitujące promieniowanie VIS i IR wytwarza bardzo wysokie temperatury (głównie źródła przemysłowe)

6.1.2. Wyznaczanie kąta widzenia źródła promieniowania (α)

Kąt widzenia źródła promieniowania (α) jest to kąt, w jakim widziane jest dane źródło promieniowania przy danej odległości oka pracownika od źródła i który jest równy kątowi wyznaczonemu przez to źródło na siatkówce oka. Wielkość kąta odzwierciedla obszar siatkówki, na którym ogniskowane jest promieniowanie źródła, które może spowodować skutki szkodliwe. Przed wyznaczeniem MDE dla zagrożenia fotochemicznego i termicznego siatkówki oka należy ww. kąt obliczyć. Na rysunku 6.1 przedstawiono graficznie kąt α i kąt ϑ .

Uwaga

Wyznaczanie kąta widzenia źródła α powinno być poprzedzone określeniem rzeczywistych wymiarów źródła oraz kąta odchylenia linii obserwacji pracownika od normalnej do powierzchni źródła ϑ (tzn., pod jakim kątem do powierzchni źródła jest linia obserwacji).



Rys. 6.1. Kąt widzenia źródła α i kąt linii obserwacji źródła ϑ

Wielkość źródła – d_{\perp}

(w przypadku, gdy źródło jest widoczne prostopadle do jego powierzchni)

- ▶ równa średnicy koła – w przypadku źródeł okrągłych,
- ▶ wyznaczana jako średnia arytmetyczna dłuższego (a) i krótszego (b) boku źródła w przypadku źródeł prostokątnych [1]:

$$d_{\perp} = \frac{a + b}{2}$$

Uwaga: jest to uproszczona metoda wyznaczania tego wymiaru, wprowadzona w poradniku UE [1].

Wielkość widoczna źródła – d_{ϑ} (tzw. wielkość pozorna źródła)

(w przypadku, gdy źródło jest obserwowane pod kątem ϑ – rys. 6.1)

$$d_{\vartheta} = d_{\perp} \cdot \cos \vartheta$$

Obliczanie kąta α :

$$\alpha = \frac{d}{r} \text{ w radianach (rad)}$$

d – wielkość źródła (w zależności od kąta ϑ , będzie to d_{\perp} lub d_{ϑ}),

r – odległość oka od źródła.

Uwaga: wielkości d i r muszą być wyrażone w tych samych jednostkach (metr, centymetr lub milimetr).

Uwaga

- Przed przystąpieniem do obliczeń wielkości źródła d i kąta widzenia α trzeba określić, czy źródło jest jednorodne.
- Źródło jednorodne emituje promieniowanie w przybliżeniu jednolicie z całej swojej powierzchni. Do wyznaczania d przyjmujemy jego całą długość i szerokość. Przykładem może być świetlówka pokryta jednolicie luminoforem, oprawa z kloszem rozpraszającym.
- Źródło niejednorodne nie emituje promieniowania jednolicie z całej swej powierzchni. Do wyznaczania d przyjmujemy wymiary odnoszące się do najbardziej jaskrawej części pola świecenia. Przykładowo, najbardziej jaskrawym polem przezroczystej żarówki jest żarnik, którego wymiary przyjmujemy do obliczeń wielkości źródła.
- Jeśli źródło składa się z dwóch lub więcej identycznych emiterów, to każdy z nich można traktować jako oddzielne źródło [1]. Przykładem może być np. oprawa oświetleniowa z dwoma świetlówkami, bez klosza rozpraszającego, gdzie każdą świetlówkę traktujemy oddzielnie.

Przykład 1.

Wyznaczenie wielkości źródła d i kąta widzenia źródła α oprawy oświetleniowej kołowej z kloszem rozpraszającym (białym matowym) o średnicy 30 cm:

- a) przy prostopadłej obserwacji źródła obserwowanej z odległości 1 m,
- b) przy obserwacji źródła pod kątem $\vartheta = 30^\circ$ względem normalnej do powierzchni świecącej oprawy z odległości 1 m,
- c) przy obserwacji źródła pod kątem $\vartheta = 30^\circ$ względem normalnej do powierzchni świecącej oprawy z odległości 2 m.

Przypadek a)

- wielkość źródła jest równa średnicy koła: $d = d_{\downarrow} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,3 \text{ rad}$.

Przypadek b)

- wielkość źródła jest równa średnicy koła: $d = d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta = 0,3 \cdot 0,866 = 0,26 \text{ m}$,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,26 \text{ rad}$.

Przypadek c)

- wielkość źródła jest równa średnicy koła: $d = d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta = 0,3 \cdot 0,866 = 0,26 \text{ m}$,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,13 \text{ rad}$.

Przykład 2.

Wyznaczenie wielkości źródła d i kąta obserwacji α oprawy oświetleniowej prostokątnej z kloszem rozpraszającym (białym matowym) o wymiarach 0,6 x 0,3 m obserwowanej z odległości 1 m:

- a) przy prostopadłej obserwacji źródła,
- b) przy obserwacji źródła pod kątem $\vartheta = 30^\circ$ względem normalnej do powierzchni świecącej oprawy,
- c) przy obserwacji źródła pod kątem $\vartheta = 60^\circ$ względem normalnej do powierzchni świecącej oprawy.

Przypadek a)

- wielkość źródła $d = d_{\downarrow} = (0,6 + 0,3)/2 = 0,45 \text{ m}$,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,45 \text{ rad}$.

Przypadek b)

- wielkość źródła $d = d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta = 0,45 \cdot 0,866 = 0,39$ m,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,39$ rad.

Przypadek c)

- wielkość źródła $d = d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta = 0,45 \cdot 0,5 = 0,23$ m,
- kąt widzenia źródła $\alpha = 0,23$ rad.

Uwaga

- Wraz ze wzrostem odległości obserwacji źródła r zmniejsza się kąt widzenia źródła α .
- Wraz ze wzrostem kąta ϑ między linią obserwacji a prostopadłą do powierzchni źródła zmniejsza się widoczna przez obserwatora wielkość źródła d oraz kąt widzenia źródła α .

6.1.3. Wyznaczanie wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE)

6.1.3.1. Zagrożenie fotochemiczne oczu i skóry nadfioletem (aktywne)

W przypadku oceny zagrożenia fotochemicznego oczu i skóry nadfioletem nie ma potrzeby wyznaczania wartości MDE, gdyż jest ona określona liczbowo i nie zależy od parametrów dodatkowych, takich jak czas czy wielkość kąta widzenia źródła. Wartość MDE jest określona przez skuteczne napromienienie i wynosi 30 J/m^2 w ciągu zmiany roboczej bez względu na długość jej trwania.

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości skutecznego aktywnie natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym E_s ekspozowanych części ciała (np. skóra twarzy, oczy, skóra dłoni), zgodnie ze wzorem: $E_s = \sum_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \Delta\lambda$ gdzie: $E(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienienia, w $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ $S(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń oczu i skóry przez promieniowanie UV
2.	Określenie całkowitego czasu ekspozycji w ciągu zmiany roboczej t_c , w sekundach
3.	Obliczenie napromienienia skutecznego H_s jako iloczynu skutecznego natężenia napromienienia E_s i czasu całkowitej ekspozycji t_c dla poszczególnych ekspozowanych części ciała: $H_s = E_s t_c$
4.	Porównanie wyznaczonych wartości H_s z wartością $\text{MDE} = 30 \text{ J/m}^2$ i określenie krotności MDE

Uwaga. Ocenę zagrożenia wykonuje się osobno dla każdej ekspozowanej części ciała, gdyż mierzone wartości natężenia napromienienia dla części ciała położonych w różnych odległościach od źródła są różne. Im bliżej źródła, tym większe są wartości natężenia napromienienia.

Na rysunku 6.2. przedstawiono wyznaczone maksymalne dopuszczalne skuteczne natężenia napromienienia oczu i skóry promieniowaniem UV przy różnych czasach całkowitej ekspozycji na nadfiolet. Dysponując wartością wyznaczonego natężenia napromienienia, można na tym wykresie określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}), tj. taki, przy którym napromienienie ma wartość równą wartości MDE.

Uwaga

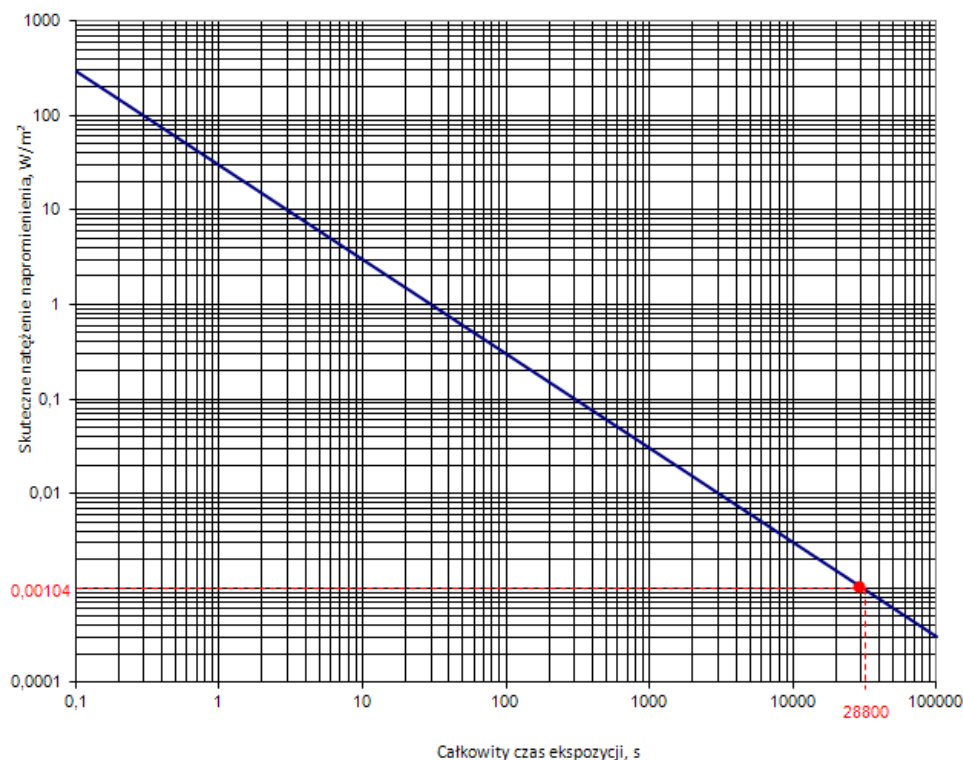
Dozwolony czas ekspozycji t_{doz} wyznacza się jako iloraz wartości MDE = 30 J/m² oraz wyznaczonej (z pomiarów lub obliczeń) wartości skutecznego natężenia napromienienia E_s :

$$t_{doz} = \frac{H_{MDE}}{E_s} = \frac{30}{E_s}$$

Można też na tym wykresie określić maksymalną dopuszczalną wartość skutecznego natężenia napromienienia dla dowolnie przyjętego czasu ekspozycji. Na rysunku 6.2 zaznaczono wartość maksymalnego skutecznego natężenia napromienienia $E_s = 0,00104 \text{ W/m}^2$ dla czasu ekspozycji równego 8 h = 28 800 s.

Uwaga

Jeśli wyznaczone skuteczne natężenie napromienienia ekspozowanej tkanki **nie przekracza 0,00104 W/m² = 1,04 mW/m²**, to w czasie ekspozycji wynoszącym 8 h nie będzie przekroczona wartość MDE = 30 J/m².



Rys. 6.2. Maksymalne dopuszczalne skuteczne natężenie napromienienia oczu i skóry promieniowaniem UV przy różnych czasach całkowitej ekspozycji

6.1.3.2. Zagrożenie fotochemiczne oczu (soczewki) promieniowaniem UVA

W przypadku oceny zagrożenia fotochemicznego oczu promieniowaniem UVA nie ma potrzeby wyznaczania wartości MDE, gdyż jest ona określona liczbowo i nie zależy od parametrów dodatkowych, takich jak czas czy wielkość kąta widzenia źródła. Wartość MDE określona jest przez skuteczne napromienienie i wynosi **10 000 J/m²** w ciągu zmiany roboczej bez względu na długość jej trwania.

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia fotochemicznego oczu promieniowaniem UVA:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym E_{UVA} oczu zgodnie ze wzorem: $E_{UVA} = \sum_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ gdzie: $E(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienienia, w $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$
2.	Określenie całkowitego czasu ekspozycji w ciągu zmiany roboczej t_c , w sekundach
3.	Obliczenie napromienienia skutecznego H_{UVA} jako iloczynu skutecznego natężenia napromienienia E_{UVA} i czasu całkowitej ekspozycji t_c dla poszczególnych ekspozycyjnych części ciała: $H_{UVA} = E_{UVA} t_c$
4.	Porównanie wyznaczonych wartości H_{UVA} z wartością $MDE = 10\,000\ J/m^2$ i określenie krotności MDE

Na rysunku 6.3 przedstawiono wyznaczone maksymalne dopuszczalne natężenia napromienienia oczu promieniowaniem UVA przy różnych czasach całkowitej ekspozycji na nadfiolet. Dysponując wartością wyznaczonego natężenia napromienienia można na tym wykresie określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}), tj. taki, przy którym występuje napromienienie równe wartości MDE.

Uwaga

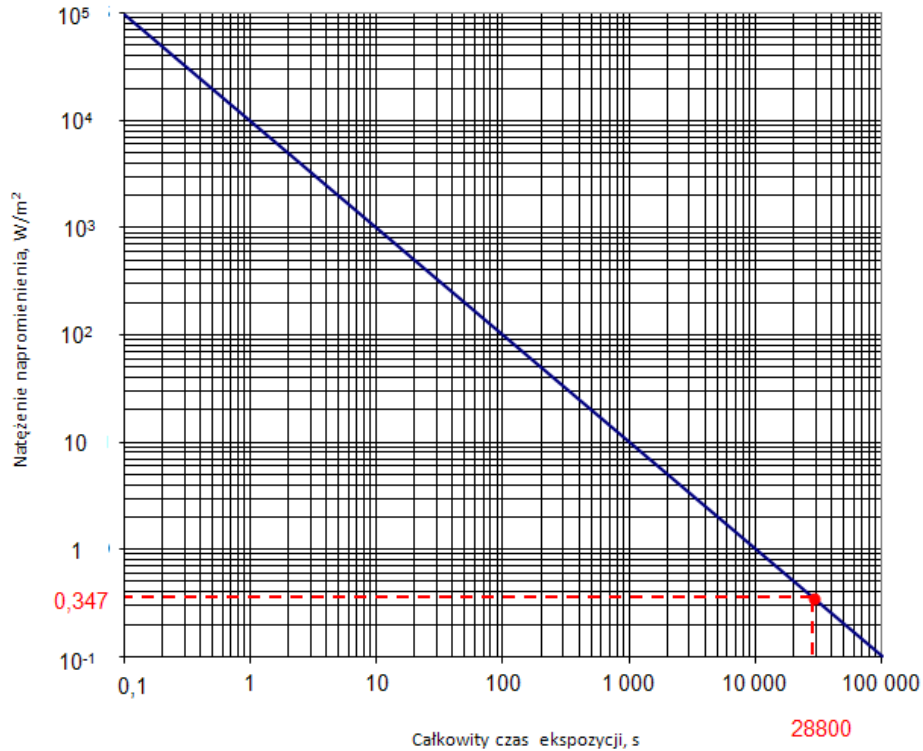
Dozwolony czas ekspozycji t_{doz} wyznacza się jako iloraz wartości $MDE = 10\,000\ J/m^2$ oraz wyznaczonej (z pomiarów lub obliczeń) wartości natężenia napromienienia E_{UVA} :

$$t_{doz} = \frac{H_{MDE}}{E_{UVA}} = \frac{10000}{E_{UVA}}$$

Można też na tym wykresie określić maksymalną dopuszczalną wartość natężenia napromienienia dla dowolnie przyjętego czasu ekspozycji. Na rysunku 6.3 zaznaczono wartość maksymalnego skutecznego natężenia napromienienia $E_s = 0,347\ W/m^2$ dla czasu ekspozycji równego $8\ h = 28\,800\ s$.

Uwaga

Jeśli wyznaczone skuteczne natężenie napromienienia oczu **nie przekracza $0,347 \text{ W/m}^2 = 347 \text{ mW/m}^2$** , to w czasie ekspozycji wynoszącym 8 h nie będzie przekroczona wartość $\text{MDE} = 10\,000 \text{ J/m}^2$.



Rys. 6.3. Maksymalne dopuszczalne natężenie napromienienia oczu promieniowaniem UVA przy różnych czasach całkowitej ekspozycji

6.1.3.3. Zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka

W przypadku oceny zagrożenia fotochemicznego oczu światłem niebieskim wyznaczana wartość MDE zależy od parametrów dodatkowych, takich jak całkowity czas ekspozycji i wielkość kąta widzenia źródła α . Wartości MDE przedstawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2. Wartości MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki [2]

Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE)		Czas ekspozycji (całkowity) s
duże źródła, $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	małe źródła, $\alpha < 11 \text{ mrad}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	
$L_B = 10^6 / t_c$	$E_B = 100 / t_c$	$t_c \leq 10\,000$
$L_B = 100$	$E_B = 0,01$	$t_c > 10\,000$

Sposób postępowania przy wyznaczaniu MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie kąta α , w miliradianach i określenie, czy dane źródło można zaliczyć do małych, czy dużych (zgodnie z warunkiem w tabeli 6.2)
2.	Określenie całkowitego czasu ekspozycji w ciągu zmiany roboczej t_c , w sekundach i sprawdzenie, czy przekracza 10 000 s
3a.	W przypadku czasu całkowitej ekspozycji do 10 000 s obliczenie MDE zgodnie z tabelą 6.2, gdzie w mianowniku wstawia się wartość t_c
3b.	W przypadku czasu całkowitej ekspozycji powyżej 10 000 s przyjęcie wartości MDE zgodnie z tabelą 6.2

Uwaga. Małe źródła występują bardzo rzadko. Wyjątkiem jest łuk spawalniczy, który przy zazwyczaj występujących odległościach oczu spawacza od łuku (ok. 50 cm) może być traktowany jako źródło małe.

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka:

Krok	Czynność
1a.	W przypadku źródeł małych – wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości skutecznej natężenia napromienienia światłem niebieskim E_B oczu zgodnie ze wzorem: $E_B = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E(\lambda) \cdot B(\lambda) \Delta\lambda$ gdzie: $E(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienienia, w $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ $B(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka światłem niebieskim
1b.	W przypadku źródeł dużych – wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości skutecznej luminancji energetycznej źródła L_B zgodnie ze wzorem: $L_B = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L(\lambda) \cdot B(\lambda) \Delta\lambda$ gdzie: $L(\lambda)$ – widmowa luminancja energetyczna, w $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ $B(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka światłem niebieskim
2	Porównanie wyznaczonych wartości E_B lub L_B z wartością MDE i określenie jej krotności

W rozdziale 6.1.2 przedstawiono sposób wyznaczania kąta widzenia źródła α w radianach. Wyznaczoną z obliczeń wartość kąta w radianach należy przeliczyć na miliradiany, tj. podzielić przez 1000. Jeśli wyznaczony kąt α jest mniejszy od 11 mrad, wówczas przyjmuje się, że źródło jest małe. Aby wyobrazić sobie, jak mały jest to kąt, można przeliczyć go na stopnie ($^\circ$). W tabeli 6.3 przedstawiono równowartości kątów w radianach i stopniach.

Przeliczanie kątów

- ▶ Zamiana kąta $\alpha_{(^\circ)}$ w stopniach na kąt w radianach $\alpha_{(rad)}$ wykonywana jest zgodnie ze wzorem:

$$\alpha_{(rad)} = \frac{\pi \cdot \alpha_{(^\circ)}}{180}$$

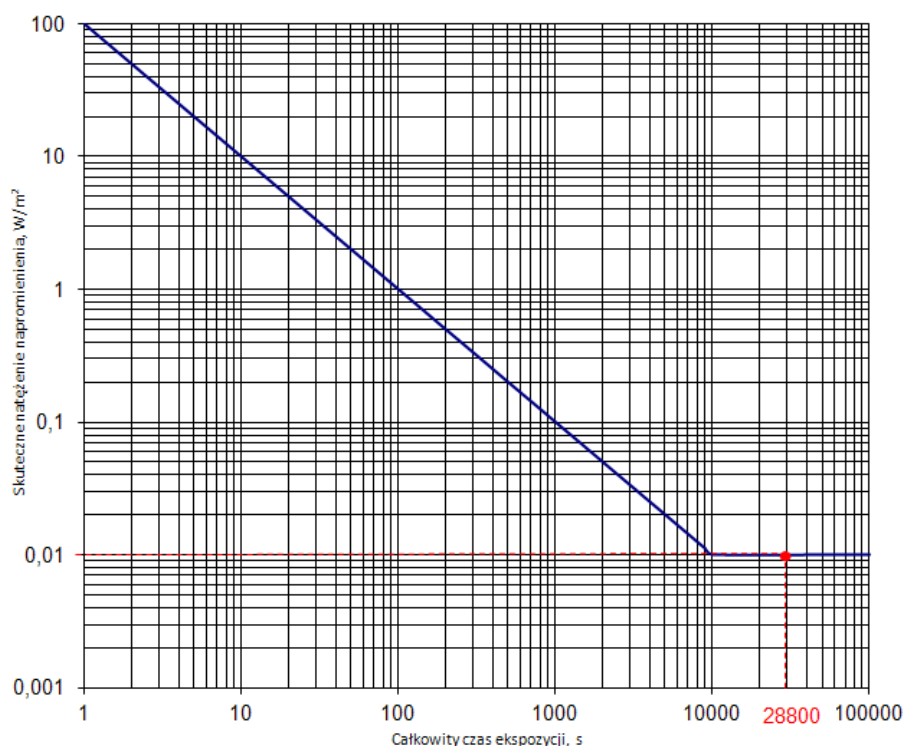
- ▶ Zamiana kąta w radianach $\alpha_{(rad)}$ na kąt w stopniach $\alpha_{(^\circ)}$ wykonywana jest zgodnie ze wzorem:

$$\alpha_{(^\circ)} = \frac{180 \cdot \alpha_{(rad)}}{\pi}$$

Tabela 6.3. Kąty w radianach i odpowiadające im kąty w stopniach

Kąt w radianach (rad)	Kąt w stopniach (°)
0,001 rad = 1 mrad	0,0573°
0,0017 rad = 1,7 mrad	0,097°
0,011 rad = 11 mrad	0,63°
0,1 rad = 100 mrad	5,73°
1 rad = 1000 mrad	57,3°

Na rysunku 6.4 przedstawiono wyznaczone maksymalne dopuszczalne skuteczne natężenia napromienienia oczu światłem niebieskim przy różnych czasach całkowitej ekspozycji, przy obserwacji małych źródeł promieniowania ($\alpha < 11$ mrad).



Rys. 6.4. Maksymalne dopuszczalne skuteczne natężenie napromienienia przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka. Małe źródła

Wyznaczone wartości MDE dla małych źródeł wskazują, że:

- przy czasach całkowitej ekspozycji poniżej 10 000 s (ok. 3 h) wartości MDE zależą od czasu i maleją wraz ze wzrostem czasu całkowitej ekspozycji,
- przy czasach całkowitej ekspozycji powyżej 10 000 s wartość MDE jest najmniejsza i nie zależy od czasu, tzn. jest taka sama dla 10 000 s jak i dla 8 h.

Dysponując wartością wyznaczonego skutecznego natężenia napromienienia, korzystając z wykresu można określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}). Czas ten określa się tylko dla ekspozycji do 10 000 s, gdyż przy dłuższych czasach wartość MDE nie zależy od czasu i wynosi $0,01 \text{ W/m}^2$.

Uwaga

Dozwolony czas ekspozycji t_{doz} wyznacza się ze wzoru:

$$t_{\text{doz}} = \frac{100}{E_B}$$

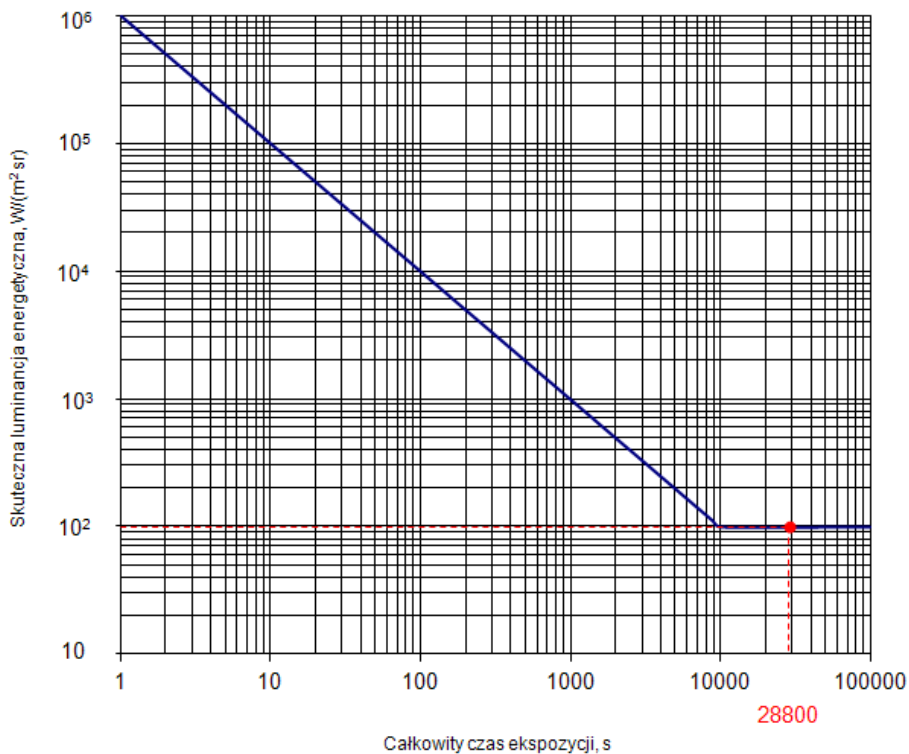
E_B – wyznaczona z pomiarów lub obliczeń wartość skuteczna natężenia napromienienia, w W/m^2 .

Na podstawie wykresu można też określić maksymalną dopuszczalną wartość natężenia napromienienia dla dowolnie przyjętego czasu całkowitej ekspozycji.

Uwaga

Jeśli wyznaczone skuteczne natężenie napromienienia oka **nie przekracza $0,01 \text{ W}/\text{m}^2 = 10 \text{ mW}/\text{m}^2$** , to, bez względu na czas ekspozycji, w ciągu zmiany roboczej nie będzie przekroczona wartość MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka przy obserwacji małych źródeł promieniowania.

Na rysunku 6.5 przedstawiono wyznaczone maksymalne dopuszczalne skuteczne luminancje energetyczne (MDE) dużych źródeł promieniowania ($\alpha \geq 11 \text{ mrad}$) przy różnych czasach całkowitej ekspozycji.



Rys. 6.5. Maksymalne dopuszczalne skuteczne natężenie napromienienia przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka. Duże źródła

Wyznaczone wartości MDE dla dużych źródeł wskazują, że:

- przy czasach całkowitej ekspozycji poniżej 10 000 s wartości MDE zależą od czasu i maleją wraz ze wzrostem czasu całkowitej ekspozycji,
- przy czasach całkowitej ekspozycji powyżej 10 000 s wartość MDE jest najmniejsza i nie zależy od czasu, tzn. jest taka sama dla 10 000 s jak i dla 8 h.

Dysponując wartością wyznaczonej skutecznej luminancji energetycznej, można na wykresie określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}). Czas ten określa się tylko dla ekspozycji do 10 000 s, gdyż przy dłuższych czasach wartość MDE nie zależy od czasu i wynosi $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$.

Uwaga

Dozwolony czas ekspozycji t_{doz} wyznacza się ze wzoru:

$$t_{\text{doz}} = \frac{10^6}{L_B}$$

L_B – wyznaczona z pomiarów lub obliczeń wartość skuteczna luminancji energetycznej, w $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$.

Z wykresu można odczytać maksymalną dopuszczalną wartość luminancji energetycznej dla dowolnie przyjętego czasu ekspozycji. Na rysunku 6.5 zaznaczono wartość maksymalnej skutecznej luminancji energetycznej $L_B = 100 \text{ W}/\text{m}^2$ dla czasu ekspozycji równego $8 \text{ h} = 28\,800 \text{ s}$.

Uwaga

Jeśli wyznaczone skuteczne natężenie napromienienia oka **nie przekracza $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$** , to, bez względu na czas ekspozycji, w ciągu zmiany roboczej nie dojdzie do przekroczenia wartości MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka przy obserwacji dużych źródeł promieniowania.

6.1.3.4. Zagrożenie termiczne siatkówki oka

W przypadku oceny zagrożenia termicznego siatkówki oka wyznaczana wartość MDE zależy od:

- luminancji świetlnej źródła promieniowania, która determinuje, czy źródło można uznać za słaby bodziec świetlny, czy silny bodziec świetlny,
- jednorazowego czasu ekspozycji t_i ,
- wielkości kąta widzenia źródła α .

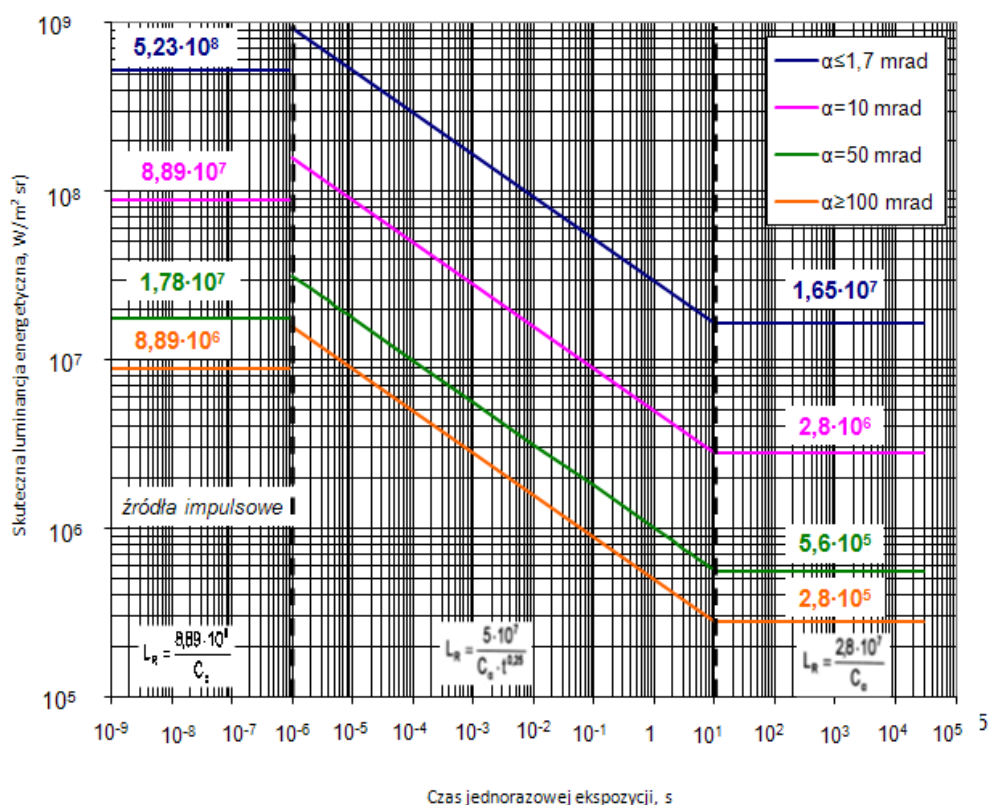
Wartości MDE w odniesieniu do źródła uznanego za silny bodziec świetlny zostały przedstawione w tabeli 6.4, a uznanego za słaby bodziec świetlny – w tabeli 6.5.

Silny bodziec świetlny – rozpatrywany zakres promieniowania $380 \div 1\,400 \text{ nm}$

Tabela 6.4. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem z zakresu VIS i IRA (silny bodziec świetlny, $L \geq 10\,000 \text{ cd}/\text{m}^2$) [2]

Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	Czas ekspozycji (jednorazowy), s	Bezwymiarowy współczynnik C_α
$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$	$t_i > 10$	$C_\alpha = 1,7$ dla $\alpha < 1,7 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ $C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100 \text{ mrad}$
$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t_i^{0,25}}$	$10^{-6} \leq t_i \leq 10$	
$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$	$t_i < 10^{-6}$	

Graficzną prezentację wartości MDE wyznaczonych dla kilku wybranych kątów α , poczynając od kąta 1,7 mrad, a kończąc na kącie 100 mrad, przedstawiono na rysunku 6.6.



Rys. 6.6. Maksymalna dopuszczalna skuteczna luminancja energetyczna źródła promieniowania przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka. Promieniowanie VIS+IRA (380 ÷ 1 400 nm), silny bodziec świetlny

Wyznaczone wartości MDE dla poszczególnych trzech przedziałów czasowych wskazują, że:

- najwyższe wartości MDE występują dla źródeł bardzo małych punktowych ($\alpha \leq 1,7$ mrad),
- najniższe wartości MDE występują dla źródeł dużych ($\alpha \geq 100$ mrad),
- przy czasach jednorazowej ekspozycji powyżej 10 s wartości MDE nie zależą od czasu i są takie same dla 10 s jak i dla 8 h,
- przy czasach jednorazowej ekspozycji poniżej 10^{-6} s wartości MDE nie zależą od czasu i są takie same bez względu na czas trwania impulsu z tego przedziału,
- przy czasach jednorazowej ekspozycji z przedziału $10^{-6} \div 10$ s wartości MDE zależą od czasu i maleją wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji.

Uwaga

- Wraz ze wzrostem wielkości kąta widzenia źródła α maleją wartości MDE (są bardziej restrykcyjne).
- Wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji maleją wartości MDE (są bardziej restrykcyjne).

Dysponując wartością wyznaczonej skutecznej luminancji energetycznej, można na wykresie określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}). Czas ten określa się tylko dla ekspozycji w zakresie

do 10 s, gdyż przy dłuższych czasach wartość MDE nie zależy od czasu, tylko od kąta α . Minimalna wartość MDE wynosi $280\,000\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{sr})$ dla kątów $\alpha \geq 100$ mrad.

Uwaga

Jeśli wyznaczona skuteczna luminancja energetyczna źródła będącego silnym bodźcem świetlnym **nie przekracza $280\,000\text{ W}/\text{m}^2\text{sr}^{-1}$** , to bez względu na wielkość kąta α i czas jednorazowej ekspozycji nie zostanie przekroczona wartość MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka przy silnych bodźcach świetlnych:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie kąta widzenia źródła α , w miliradianach
2.	Wyznaczenie wartości C_α na podstawie kąta α , zgodnie z tabelą 6.4
3.	Określenie jednorazowego czasu ekspozycji t_i , w sekundach
4.	W zależności od wyznaczonej wartości czasu t_i obliczenie MDE zgodnie odpowiednim wzorem z tabeli 6.4

Uwaga. Czasy jednorazowej ekspozycji poniżej 10^{-6} s dotyczą źródeł impulsowych.

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości skutecznej luminancji energetycznej L_R oczu zgodnie ze wzorem: $L_R = \sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=1400\text{nm}} L(\lambda) \cdot R(\lambda) \Delta\lambda$ <p>gdzie: $L(\lambda)$ – widmowa luminancja energetyczna, w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\text{ nm}^{-1}$ $R(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń termicznych siatkówki oka</p>
2.	Porównanie wyznaczonej wartości L_R z wartością MDE i określenie krotności MDE

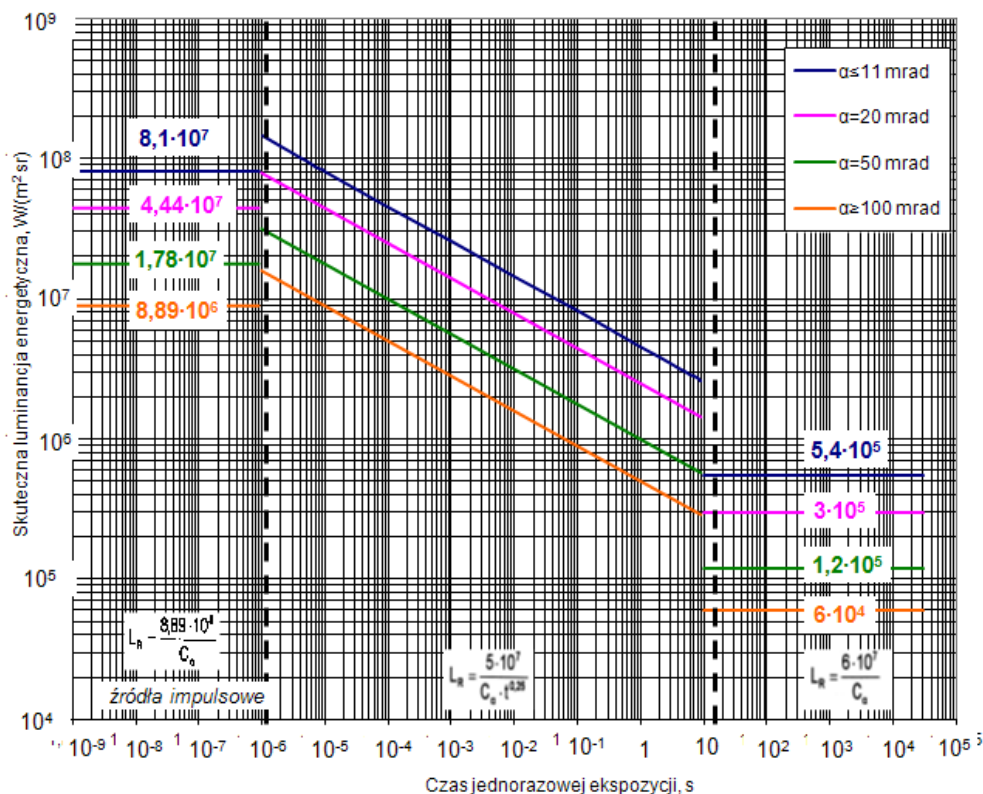
Słaby bodziec świetlny – rozpatrywany zakres promieniowania 780 ÷ 1 400 nm

Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem z zakresu IRA przedstawiono w tabeli 6.5.

Tabela 6.5. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem z zakresu IRA (słaby bodziec świetlny, $L < 10\,000\text{ cd}/\text{m}^2$) [2]

Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	Czas ekspozycji (jednorazowy), s	Bezwymiarowy współczynnik C_α
$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$	$t_i > 10$	$C_\alpha = 11$ dla $\alpha < 11$ mrad $C_\alpha = \alpha$ dla $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100$ mrad
$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t_i^{0,25}}$	$10^{-6} \leq t_i \leq 10$	
$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$	$t_i < 10^{-6}$	

Graficzną prezentację wartości MDE wyznaczonych dla kilku wybranych kątów α , poczynając od kąta 11 mrad, a na kącie 100 mrad kończąc, przedstawiono na rysunku 6.7.



Rys. 6.7. Maksymalna dopuszczalna skuteczna luminancja energetyczna źródła przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka. Promieniowanie IRA (780 ÷ 1 400 nm), słaby bodziec świetlny

Wyznaczone wartości MDE dla poszczególnych trzech przedziałów czasowych wskazują, że:

- najwyższe wartości MDE występują dla źródeł bardzo małych punktowych ($\alpha \leq 11$ mrad),
- najniższe wartości MDE występują dla źródeł dużych ($\alpha \geq 100$ mrad),
- przy czasach jednorazowej ekspozycji powyżej 10 s wartości MDE nie zależą od czasu i są takie same dla 10 s jak i dla 8 h,
- przy czasach jednorazowej ekspozycji poniżej 10^{-6} s wartości MDE nie zależą od czasu i są takie same bez względu na czas trwania impulsu z tego przedziału,
- przy czasach jednorazowej ekspozycji z przedziału $10^{-6} \div 10$ s wartości MDE zależą od czasu i maleją wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji.

Uwaga

- Wraz ze wzrostem wielkości kąta widzenia źródła α maleją wartości MDE (są bardziej restrykcyjne).
- Wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji maleją wartości MDE (są bardziej restrykcyjne). Szczególnie jest to widoczne dla czasów ekspozycji powyżej 10 s.

Dysponując wartością wyznaczonej skutecznej luminancji energetycznej można na wykresie określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}). Czas ten określa się tylko dla ekspozycji do 10 s, gdyż

przy dłuższych czasach wartość MDE nie zależy od czasu, tylko od kąta α . Minimalna wartość MDE wynosi $60\,000\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ dla kątów $\alpha \geq 100\text{ mrad}$.

Uwaga

Jeśli wyznaczona skuteczna luminancja energetyczna źródła niebędącego silnym bodźcem świetlnym **nie przekracza $60\,000\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{s}$** , to bez względu na wielkość kąta α i czas jednorazowej ekspozycji nie zostanie przekroczona wartość MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka przy słabych bodźcach świetlnych:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie kąta widzenia źródła α , w miliradianach
2.	Wyznaczenie wartości C_α na podstawie kąta α , zgodnie z tabelą 6.5
3.	Określenie jednorazowego czasu ekspozycji t_i , w sekundach
4.	W zależności od wyznaczonej wartości czasu t_i obliczenie MDE zgodnie z odpowiednim wzorem w tabeli 6.5

Uwaga. Czasy jednorazowej ekspozycji poniżej 10^{-6} s dotyczą źródeł impulsowych.

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości skutecznej luminancji energetycznej L_R oczu zgodnie ze wzorem: $L_R = \sum_{\lambda=780\text{nm}}^{\lambda=1400\text{nm}} L(\lambda) \cdot R(\lambda) \Delta\lambda$ gdzie: $L(\lambda)$ – widmowa luminancja energetyczna, w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\text{ nm}^{-1}$ $R(\lambda)$ – rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń termicznych siatkówki oka
2.	Porównanie wyznaczonej wartości L_R z wartością MDE i określenie krotności MDE

Uwaga

Porównując wartości MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oka, pochodzącego od źródeł będących silnym lub słabym bodźcem świetlnym, można zauważyć, że:

- w przypadku źródeł impulsowych ($t_i < 10^{-6}\text{ s}$) wartości MDE dla kątów $\alpha \geq 11\text{ mrad}$ są takie same,
- w przypadku czasów jednorazowej ekspozycji $10\text{ s} > t_i \geq 10^{-6}\text{ s}$ wartości MDE dla kątów $\alpha \geq 11\text{ mrad}$ są takie same,
- w przypadku czasów jednorazowej ekspozycji powyżej 10 s wartości MDE dla źródeł o słabym bodźcu są dużo mniejsze niż dla źródeł o silnym bodźcu świetlnym; wynika to z odruchu awersyjnego oka (zwięźlenie źrenicy, zmrużenie oczu itp.) występującego przy jaskrawych źródłach, który ogranicza w sposób naturalny obserwację tych źródeł i tym samym ogranicza zagrożenie uszkodzenia termicznego siatkówki.

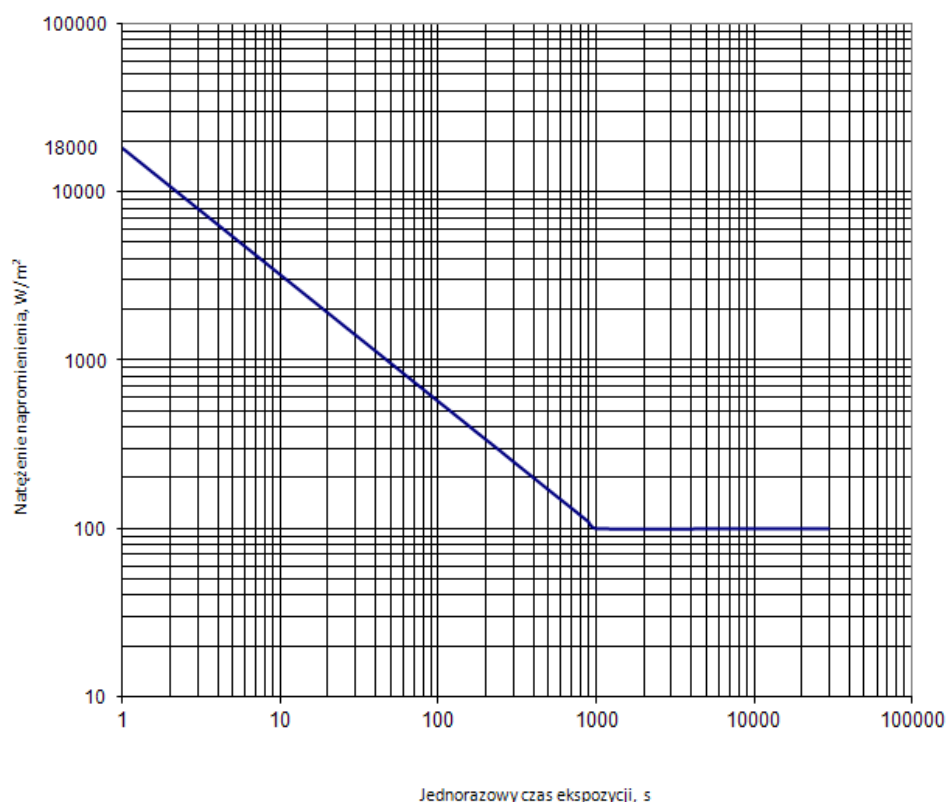
6.1.3.5. Zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka

W przypadku oceny zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oczu wyznaczana wartość MDE zależy od jednorazowego czasu ekspozycji t_i . Wartość MDE określona jest przez natężenie napromienienia pasmem z zakresu 780 ÷ 3 000 nm. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka przedstawiono w tabeli 6.6.

Tabela 6.6. Wartości MDE dla zagrożenia termicznego rogówki i soczewki

Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) W/m^2	Czas ekspozycji (jednorazowy), s
$E_{IR} = 18\,000 \cdot t_i^{0,75}$	$t_i < 1\,000$
$E_{IR} = 100$	$t_i \geq 1\,000$

Graficzną prezentację wartości MDE przedstawiono na rysunku 6.8.



Rys. 6.8. Maksymalne dopuszczalne natężenie napromienienia oczu promieniowaniem IRA+IRB przy różnych czasach jednorazowej ekspozycji. Ocena zagrożenia termicznego rogówki i soczewki

Wyznaczone wartości MDE wskazują, że:

- w przedziale czasu jednorazowej ekspozycji do 1 000 s wartości MDE maleją wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji,
- przy czasach jednorazowej ekspozycji powyżej 1 000 s wartość MDE nie zależy od czasu i wynosi 100 W/m^2 dla 1 000 s jak i dla 8 h.

Dysponując wartością wyznaczonego natężenia napromienienia można na wykresie na rysunku 6.8 określić dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}). Czas ten określa się tylko dla ekspozycji do 1 000 s, gdyż przy dłuższych czasach wartość MDE nie zależy od czasu i wynosi 100 W/m^2 .

Sposób postępowania przy wyznaczaniu MDE dla zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka:

Krok	Czynność
1.	Określenie jednorazowego czasu ekspozycji t_i , w sekundach, i sprawdzenie, czy przekracza 1 000 s
2.	W przypadku czasu jednorazowej ekspozycji do 1 000 s obliczenie MDE zgodnie z tabelą 6.6, gdzie we wzorze wstawia się wartość t_i
3.	W przypadku czasu jednorazowej ekspozycji powyżej 100 s przyjęcie wartości MDE = 100 W/m^2 , zgodnie z tabelą 6.6

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości natężenia napromienienia promieniowaniem IRA i IRB E_{IR} oczu , zgodnie ze wzorem: $E_{IR} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ gdzie: $E(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienienia, w $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$
2.	Porównanie wyznaczonych wartości E_{IR} z wartością MDE i określenie krotności MDE

Uwaga

Jeśli wyznaczone natężenie napromienienia oka **nie przekracza 100 W/m^2** , to bez względu na czas jednorazowej ekspozycji nie będzie przekroczona wartość MDE dla zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka.

6.1.3.6. Zagrożenie termiczne skóry

W przypadku oceny zagrożenia termicznego skóry wyznaczana wartość MDE zależy od jednorazowego czasu ekspozycji t_i . Wartość czasu jednorazowej ekspozycji, który uwzględnia się przy ocenie zagrożenia termicznego skóry, ograniczona jest do 10 s. Powyżej tego czasu określa się obciążenie termiczne organizmu i wyznacza wskaźnik WBGT.

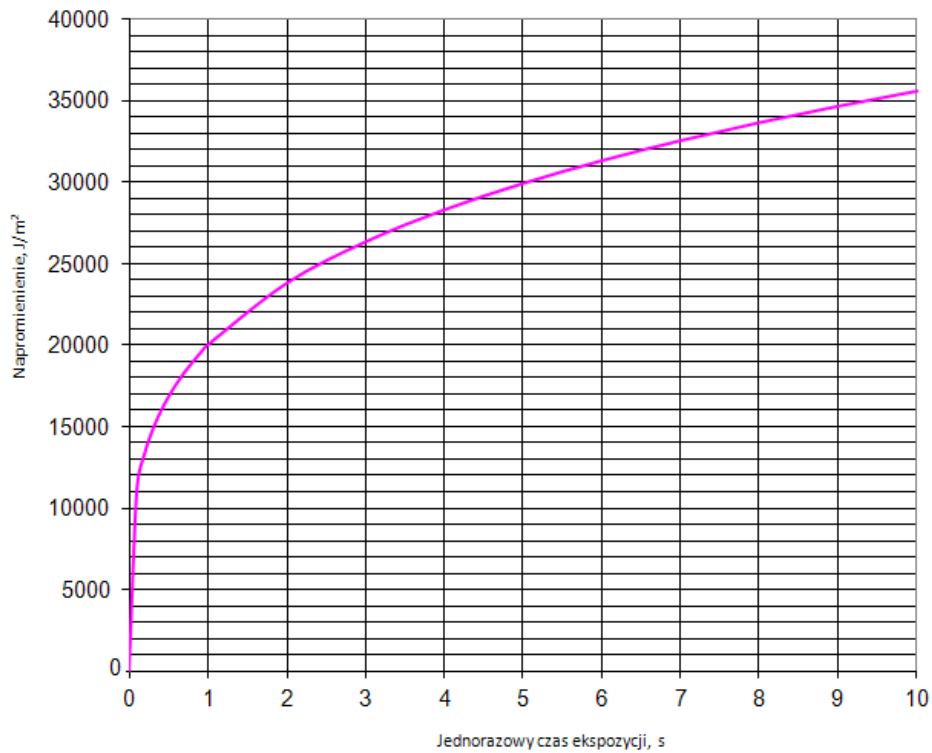
Wartość MDE określona jest przez napromienienie pasmem z zakresu $380 \div 3\,000 \text{ nm}$. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego określa wzór:

$$H_{skóra} = 20\,000 \cdot t_i^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

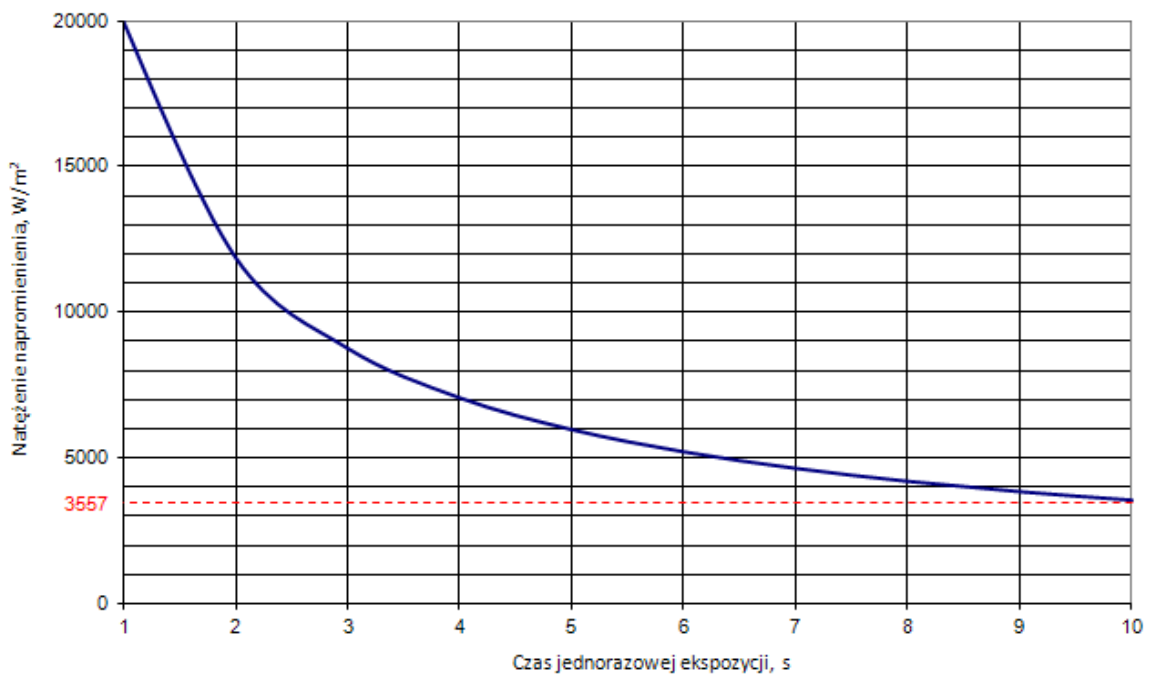
Graficzną prezentację wartości MDE przedstawiono na rysunku 6.9. Wyznaczone wartości MDE wskazują, że wraz ze wzrostem czasu jednorazowej ekspozycji wartości MDE rosną.

Korzystając z wykresu przedstawionego na rysunku 6.10, obrazującego zależność maksymalnego natężenia napromienienia skóry od czasu jednorazowej ekspozycji, można wyznaczyć

dozwolony czas jednorazowej ekspozycji w zależności od występującego na danym stanowisku natężenia napromienienia skóry.



Rys. 6.9. Maksymalne dopuszczalne napromienienie skóry przy ocenie zagrożenia termicznego skóry



Rys. 6.10. Maksymalne dopuszczalne natężenie napromienienia skóry promieniowaniem (380 ÷ 3 000 nm) przy różnych czasach jednorazowej ekspozycji

Uwaga

- Im dłuższy czas jednorazowej ekspozycji, tym mniejsza dopuszczalna wartość natężenia napromienienia promieniowania padającego na skórę.
- Jeśli wyznaczona z pomiarów lub obliczeń wartość natężenia napromienienia skóry $E_{skóra}$ **nie przekracza $3\ 557\ \text{W/m}^2$** , to można przyjąć, że bez względu na jednorazowy czas ekspozycji nie występuje zagrożenie termiczne skóry.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu MDE dla zagrożenia termicznego skóry:

Krok	Czynność
1.	Określenie jednorazowego czasu ekspozycji t_i , w sekundach, nieprzekraczającego 10 s
2.	Obliczenie MDE zgodnie ze wzorem, w którym wstawia się wartość t_i

Sposób postępowania przy ocenie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki:

Krok	Czynność
1.	Wyznaczenie na podstawie pomiarów lub obliczeń wartości natężenia napromienienia promieniowaniem VIS, IRA i IRB $E_{skóry}$ zgodnie ze wzorem: $E_{skóry} = \sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ gdzie: $E(\lambda)$ – widmowe natężenie napromienienia, w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$
2.	Obliczenie napromienienia $H_{skóra}$ jako iloczynu natężenia napromienienia $E_{skóra}$ i czasu jednorazowej ekspozycji t_i dla poszczególnych ekspozowanych części ciała pokrytych skórą (twarz, ręce itp.), zgodnie ze wzorem: $H_{skóra} = E_{skóra} t_i$
3.	Porównanie wyznaczonych wartości $H_{skóra}$ z wartością MDE i określenie krotności MDE

6.2. Promieniowanie laserowe

Zagrożenie promieniowaniem laserowym rozpatruje się dla urządzeń laserowych emitujących promieniowanie z zakresu długości fal $180 \div 10^6\ \text{nm}$ ($180\ \text{nm} \div 1\ \text{mm}$). Wartości MDE dla promieniowania laserowego jest łatwiej określać niż dla promieniowania nielaserowego, gdyż emitowane promieniowanie laserowe ma jedną długość fali. Jednakże prawidłowe obliczenie wartości MDE często nie jest proste. Najbardziej skomplikowane jest wyznaczanie wartości MDE oka na promieniowanie o długościach fal $400 \div 1\ 400\ \text{nm}$, czyli z zakresu niebezpiecznego dla siatkówki oka. Sytuacja dodatkowo się komplikuje, jeśli mamy do czynienia z laserem pracującym w trybie impulsowym, kiedy należy sprawdzać zarówno zagrożenie pojedynczym impulsem jak i grupą impulsów w obrębie czasu ekspozycji.

Pełna analiza zagrożenia promieniowaniem laserowym jest dość złożona i może się okazać niezbędne zwrócenie o pomoc do kompetentnego eksperta. W niniejszym poradniku przedstawiono jedynie informacje, które umożliwią pracodawcy stwierdzenie, czy może samodzielnie wykonać ocenę ryzyka, czy też powinien szukać pomocy specjalistów.

W odróżnieniu od promieniowania nielaserowego, promieniowanie laserowe bez względu na długość fali z zakresu 180 nm ÷ 1 mm może zainicjować reakcje termiczne w tkance biologicznej i wywołać uszkodzenie termiczne. Promieniowanie laserowe może skutecznie doprowadzić do obszaru oddziaływania z tkanką, niespotykane przy innych źródłach promieniowania, duże moce chwilowe wiązki i tym samym wywołać reakcje termiczne bez względu na długość fali promieniowania. Przyjmuje się, że promieniowanie laserowe może wywoływać uszkodzenia fotochemiczne w zakresie 180 ÷ 600 nm. W przypadku skóry zasadnicze znaczenie ma przede wszystkim promieniowanie z zakresu 180 ÷ 400 nm (nadfiolet). W tabeli 6.7 przedstawiono rodzaje zagrożeń dla oka i skóry związane z ekspozycją na promieniowanie laserowe, które należy uwzględnić podczas oceny zagrożenia promieniowaniem laserowym o długości fali z poszczególnych zakresów.

Tabela 6.7. Rodzaje zagrożeń dla oka i skóry związane z ekspozycją na promieniowanie laserowe (na podstawie [3])

Długość fali, nm	Zakres	Narząd	Rodzaj zagrożenia
180 ÷ 400	UV	oko	uszkodzenie fotochemiczne lub termiczne rogówki, spojówki lub soczewki
		skóra	rumień, uszkodzenie fotochemiczne lub termiczne
400 ÷ 600	VIS	oko	uszkodzenie fotochemiczne siatkówki
400 ÷ 700	VIS	oko	uszkodzenie termiczne siatkówki
		skóra	uszkodzenie termiczne lub fotochemiczne
700 ÷ 1 400	IRA	oko	uszkodzenie termiczne siatkówki
		skóra	uszkodzenie termiczne
1 400 ÷ 2 600	IRB	oko	uszkodzenie termiczne rogówki i soczewki
2 600 ÷ 10 ⁶	IRB, IRC	oko	uszkodzenie termiczne rogówki
1 400 ÷ 10 ⁶	IRB, IRC	skóra	uszkodzenie termiczne

Uwaga

Dla danego urządzenia laserowego może mieć zastosowanie jedna lub kilka wartości MDE. W przypadku laserów pracy ciągłej emitujących z zakresu IRB lub IRC (1 400 nm ÷ 1 mm) przyjmowana jest **jedna wartość MDE**, gdyż rozpatrujemy tylko zagrożenie termiczne w czasie jednorazowej ekspozycji, a wartości MDE dla oczu i skóry są takie same. Dla laserów impulsowych emitujących promieniowanie o długości fali 400 ÷ 600 nm **może być maksymalnie sześć** wartości MDE.

Co należy wiedzieć przy wyborze MDE dla promieniowania laserowego

- ▶ Jaka jest **długość fali promieniowania**?
- ▶ Jaki jest reżim pracy lasera (ciągły, impulsowy)?
- ▶ Jaki jest czas trwania pojedynczego impulsu i częstotliwość repetycji promieniowania? – Dotyczy tylko laserów impulsowych.

- ▶ Jaki jest **jednorazowy czas ekspozycji** pracownika przy wykonywaniu danej czynności w narażeniu na to promieniowanie (np. na podstawie pomiarów stoperem lub danych technologicznych)?
- ▶ Jaki jest **całkowity czas ekspozycji** w ciągu zmiany roboczej (np. poprzez obliczenie iloczynu czasu jednorazowej ekspozycji i liczby ekspozycji w ciągu zmiany roboczej)? – Dotyczy oceny zagrożeń fotochemicznych, tj. dla długości fal z zakresu 180 ÷ 600 nm.
- ▶ **Jaki jest rozmiar obrazu źródła promieniowania na siatkówce oka (kąt α)?** – Dotyczy tylko oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego siatkówki oka, tj. dla $\lambda = 400 \div 1\ 400$ nm.

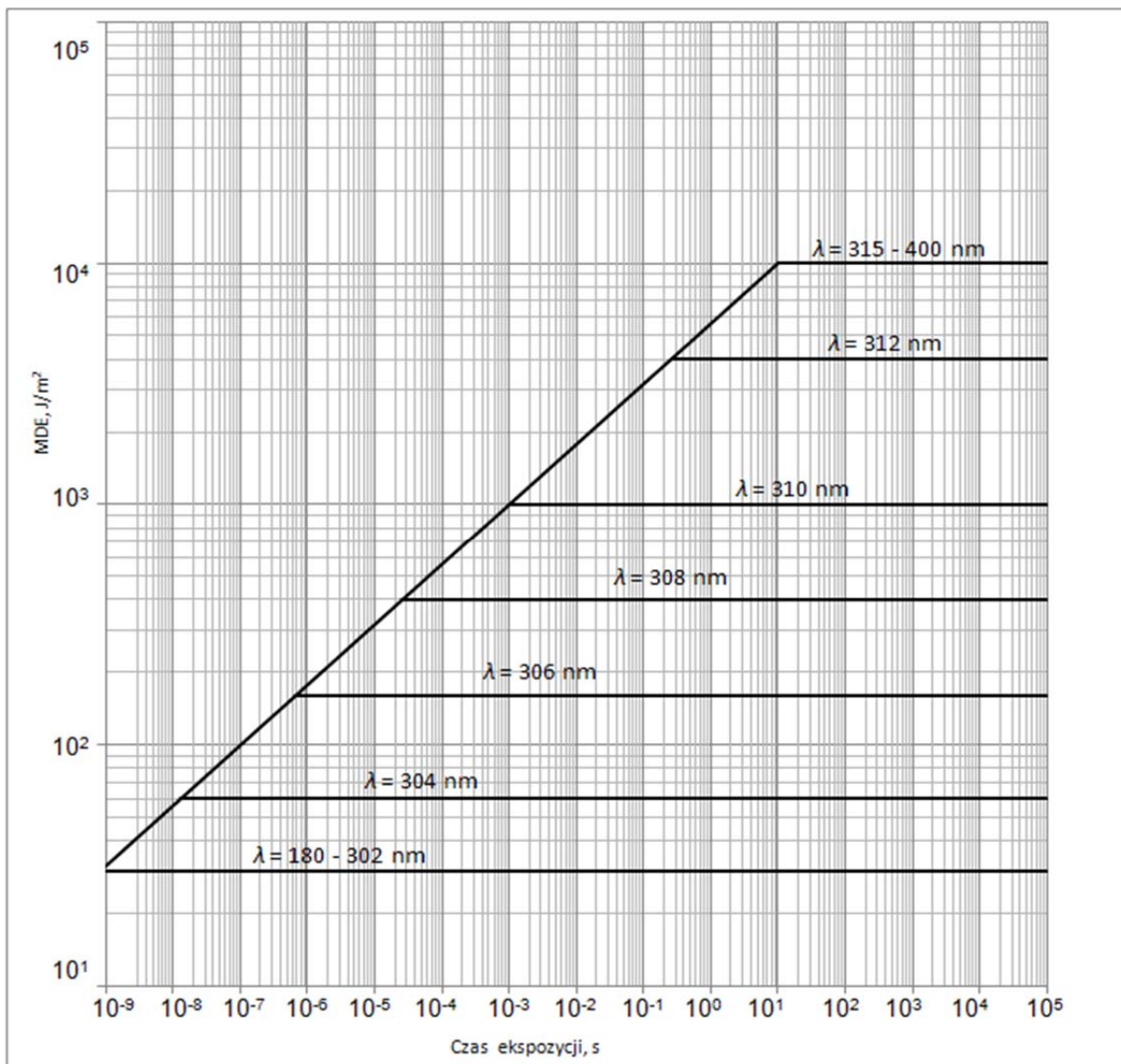
Ważne

- **Czas jednorazowej ekspozycji** stosuje się do wyznaczania MDE dla wszystkich zagrożeń termicznych oka i skóry.
- **Całkowity czas ekspozycji** stosuje się do wyznaczania MDE dla wszystkich zagrożeń fotochemicznych oka i skóry.
- **Czas trwania pojedynczego impulsu** stosuje się do wyznaczania MDE dla zagrożenia termicznego pojedynczym impulsem, dla laserów impulsowych.
- **Czas ekspozycji** wyrażamy zawsze **w sekundach (s)**.
- **Kąt widzenia źródła α** wyrażamy **w miliradianach (mrad)**.

6.2.1. Wartości MDE oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 180 ÷ 400 nm

Wartości MDE oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu nadfioletu zawarte są w tabeli 5. *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r.* [4]. Oceniając zagrożenie fotochemiczne lub termiczne oczu i skóry nadfioletem, w części przypadków nie trzeba wyznaczać wartości MDE, gdyż jest ona określona liczbowo i nie zależy od parametrów dodatkowych, takich jak czas czy wielkość kąta widzenia źródła. W pozostałych przypadkach (przy czasach ekspozycji poniżej 10 s) wyznacza się je ze wzoru, gdzie wstawia się wartość czasu ekspozycji. W zakresie czasów ekspozycji powyżej 10^{-9} s wartości MDE wyrażone są napromienieniem (H , w J/m^2). Przy czasach ekspozycji poniżej 10^{-9} s wartości MDE wyrażone są natężeniem napromienienia (E , w W/m^2).

Wartości MDE dla przykładowych długości fal z zakresu UV i przy czasach ekspozycji powyżej 10^{-9} s przedstawiono graficznie na wykresie na rysunku 6.11.



Rys. 6.11. Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu nadfioletu

Analizując wykres na rysunku 6.11, można stwierdzić, że najmniejsze wartości $MDE = 30 \text{ J/m}^2$ występują dla zakresu $180 \div 280 \text{ nm}$ i nie zależą od czasu ekspozycji powyżej 10^{-9} s . Przy większych długościach fal wartości MDE rosną; największe wartości $MDE = 10\,000 \text{ J/m}^2$ odnoszą się do UVA z zakresu $315 \div 400 \text{ nm}$ dla czasu ekspozycji od 10 s. Można zauważyć, że wartości minimalne i maksymalne wartości MDE odpowiadają wartościom MDE dla nielasrowego promieniowania UV.

6.2.2. Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu $400 \div 1\,400 \text{ nm}$

Wartości MDE dla oka przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu $400 \div 1\,400 \text{ nm}$ są podane w tabelach 6. i 7., natomiast MDE skóry tym promieniowaniem – w tabeli 8. *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r.* [4].

Przy wyznaczaniu wartości MDE dla oczu promieniowaniem laserowym z zakresu 400 ÷ 1 400 nm, tj. dla zagrożenia termicznego i fotochemicznego siatkówki oka, należy uwzględnić szereg warunków i współczynników przeliczeniowych zależnych od: kąta α , czasu ekspozycji i długości fali promieniowania, które to uniemożliwiają ogólne graficzne przedstawienie wartości MDE. Zaleca się, aby wartości MDE dla tego zakresu promieniowania były wyznaczane przez właściwego eksperta (lub przeszkoloną w tym zakresie osobę). Prawidłowe obliczenie tych wartości wymaga zastosowania szerszej wiedzy merytorycznej i wielu różnych warunków i współczynników obliczeniowych.

Ważne

Wartości liczbowe MDE oczu przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 400 ÷ 1 400 nm są najmniejsze, czyli najbardziej restrykcyjne! Wynika to z faktu, że promieniowanie z tego zakresu po wejściu do oka **jest wzmacniane ok. 100 tys. razy** przez układ optyczny oka (rogówkę i soczewkę), przez co wartości natężenia napromienienia mierzone przy rogówce oka, wynoszące ok. 1 mW/cm², po przejściu przez układ optyczny oka osiągają na siatkówce wartość ok. 100 W/cm².

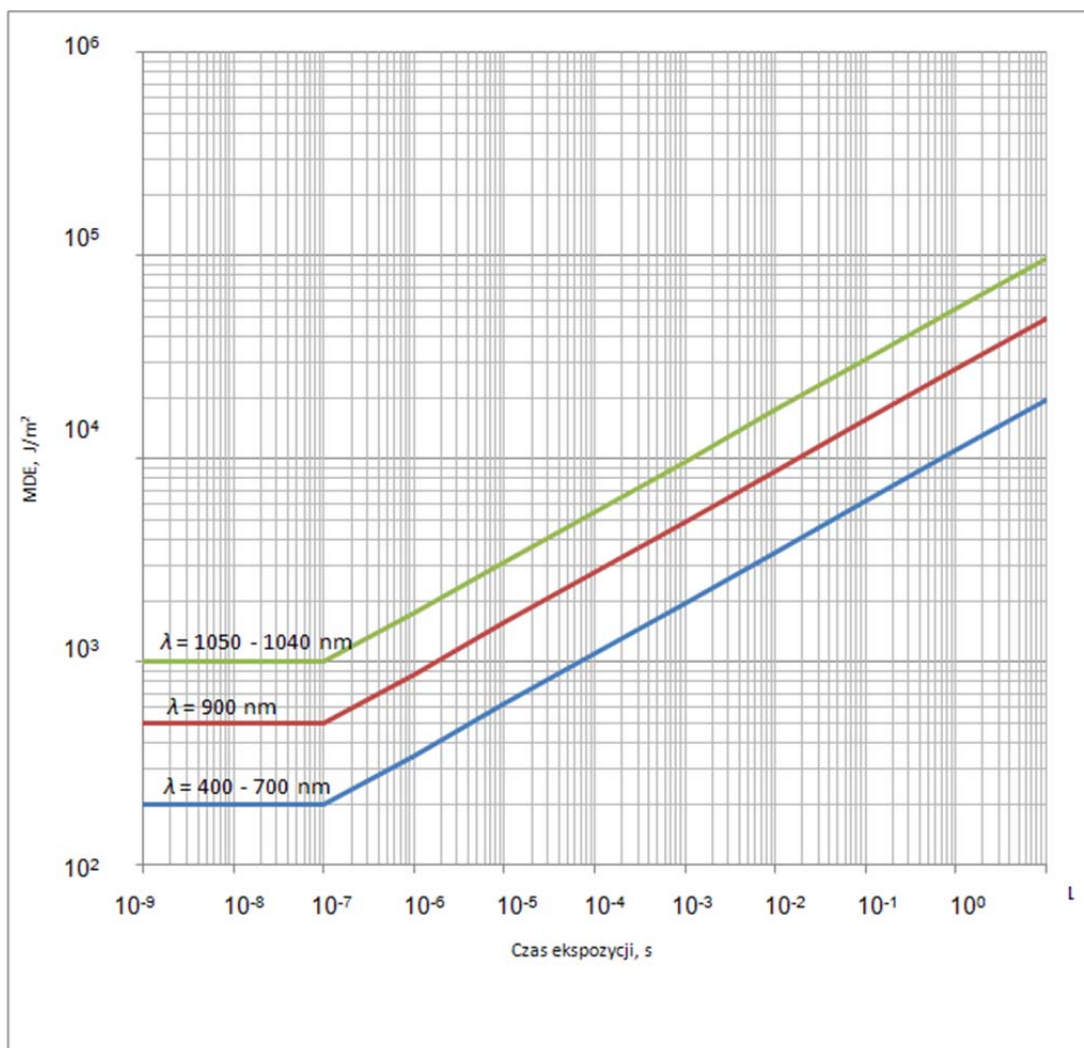
Przy obsłudze laserów emitujących promieniowanie z tego zakresu należy szczególnie przestrzegać noszenia gogli ochronnych.

Uwaga

W celu wyznaczenia wartości MDE i krotności MDE można skorzystać z programu **IRYS** (Interaktywna ocena RYZyka zawodowego przez Internet), który dostępny jest bezpłatnie na portalu CIOP-PIB pod adresem: <http://www.ciop.pl/7501.html>. **Należy jednak pamiętać, że wprowadzenie w programie niewłaściwych danych, a zwłaszcza wartości kąta α , może spowodować błędy w wynikach.**

Wartości MDE dla skóry w odniesieniu do promieniowania z zakresu 400 ÷ 1 400 nm wyznacza się w zależności od czasu ekspozycji i współczynnika przeliczeniowego C_A , zależnego od długości fali. Przykładowe wartości MDE dla wybranych długości fal z zakresu 400 ÷ 1 400 nm i czasów ekspozycji 10⁻⁹ ÷ 10 s przedstawiono graficznie na wykresie na rysunku 6.12. W przedstawionym zakresie czasów ekspozycji wartości MDE są wyrażone napromienieniem (H , w J/m²). Przy czasach ekspozycji poniżej 10⁻⁹ s oraz powyżej 10 s wartości MDE są wyrażone natężeniem napromienienia (E , w W/m²), wobec czego nie mogły być zamieszczone na jednym rysunku.

Analizując wykres na rysunku 6.12, można zauważyć, że najmniejsze wartości odnoszą się do zakresu 400 ÷ 700 nm (wartości MDE są takie same dla tych długości fal) i w przedziale 10⁻⁹ ÷ 10⁻⁷ s nie zależą od czasu ekspozycji, natomiast w zakresie 10⁻⁷ ÷ 10 s rosną wraz z czasem ekspozycji. Przy długościach fal z zakresu 700 ÷ 1 050 nm wartości MDE rosną wraz ze wzrostem długości fal i następnie w zakresie 1 050 ÷ 1 400 nm przyjmują takie same wartości dla poszczególnych wartości czasu ekspozycji.

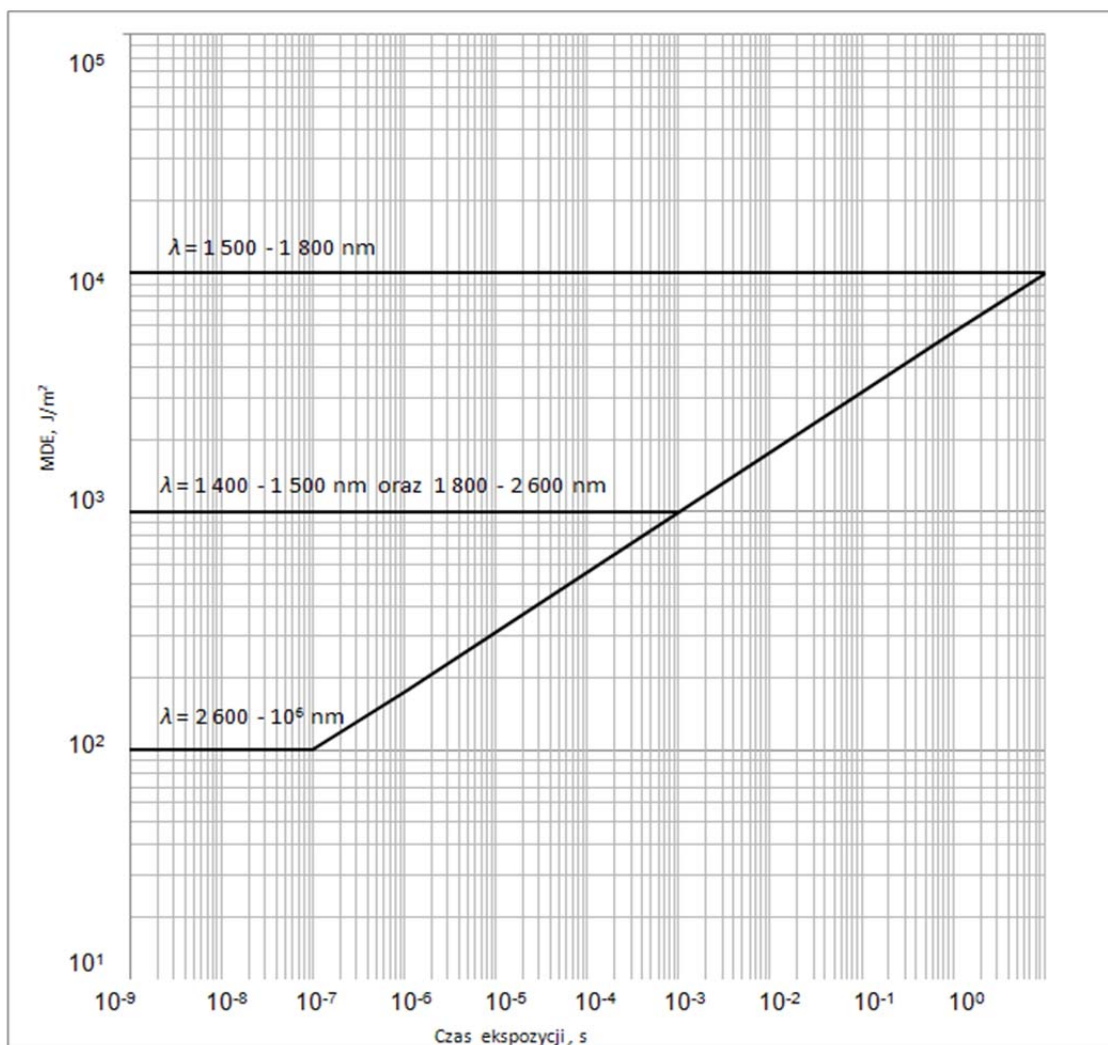


Rys. 6.12. Wartości MDE skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 400 ÷ 1 400 nm

6.2.3. Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu 1 400 nm ÷ 1 mm

Wartości MDE dla oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu IRB i IRC są podane w tabeli 9. *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r.* [4].

Wartości MDE dla oczu i skóry przy ekspozycji na promieniowanie podczerwone z zakresu 1 400 nm ÷ 1 mm (IRB i IRC) wyznacza się w zależności od długości fali i czasu ekspozycji. Wartości MDE dla oczu i skóry są takie same. Wartości MDE dla wybranych zakresów długości fal i czasów ekspozycji 10⁻⁹ ÷ 10 s przedstawiono graficznie na rysunku 6.13. W przedstawionym zakresie czasów ekspozycji wartości MDE wyrażone są napromienieniem (H , w J/m²). Przy czasach ekspozycji poniżej 10⁻⁹ s oraz powyżej 10 s wartości MDE wyrażone są natężeniem napromienienia (E , w W/m²).



Rys. 6.13. Wartości MDE oka i skóry przy ekspozycji na promieniowanie laserowe z zakresu IRB i IRC

Analizując wykres na rysunku 6.13, można zauważyć, że najmniejsze wartości MDE odnoszą się do zakresu 2 600 nm ÷ 1 mm (wartości MDE są takie same dla tych długości fal) i w przedziale 10⁻⁹ ÷ 10⁻⁷ s nie zależą od czasu ekspozycji, natomiast w zakresie 10⁻⁷ ÷ 10 s rosną wraz z czasem ekspozycji. Przy długościach fal z zakresu 1 400 ÷ 1 500 nm oraz 1 800 ÷ 2 600 nm wartości MDE są wyższe i w przedziale 10⁻⁹ ÷ 10⁻³ s nie zależą od czasu ekspozycji, natomiast w zakresie 10⁻³ ÷ 10 s rosną wraz z czasem ekspozycji. Przy długościach fal z zakresu 1 500 ÷ 1 800 nm wartości MDE są najwyższe i nie zależą od czasu ekspozycji w całym rozpatrywanym zakresie czasu 10⁻⁹ ÷ 10 s.

6.2.4. Wyznaczanie wartości MDE a klasyfikacja laserów

System klasyfikacji laserów określa jednoznacznie, jakie zagrożenie dla zdrowia użytkownika może powodować dany laser. Określenie klasy lasera jest obowiązkiem producenta urządzenia laserowego i ogólnie przyjmuje się, że największe zagrożenie dla zdrowia człowieka stanowią lasery klasy 3B i 4. Jeśli niższe klasy lasera (tj. klasy 1, 1M, 2M, 3R) są stosowane zgodnie z zale-

ceniami producenta przy ogólnie przyjętych zasadach bezpiecznej obsługi, to nie powinno występować ryzyko dla zdrowia człowieka. Jeśli jednak takie sytuacje mają miejsce, wówczas należy przeprowadzić szczegółową analizę i pomiary na stanowisku pracy, w celu określenia poziomu ekspozycji i porównania go z wartościami MDE.

Z tego w związku w *Rozporządzeniu 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* [3] oraz *Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* [5] znajduje się zapis, że pracodawca nie wykonuje oceny poziomu promieniowania i poziomu ekspozycji, jeżeli:

- stosuje lasery klasy 1, 1M, 2, 2M lub 3R, które pracują w warunkach określonych przez producenta urządzenia lub
- lasery klasy 3B lub 4, do których zostały zastosowane środki ochrony zbiorowej, pozwalające na zaklasyfikowanie ich do klasy 1.

Ważne

Jeśli w danym zakładzie stosowane są lasery **klasy 3B lub 4**, to powinna zostać wyznaczona odpowiednia osoba odpowiadająca za bezpieczeństwo ich obsługi, jak również powinna być wykonana ocena ryzyka na podstawie pomiarów lub obliczeń promieniowania laserowego, które może docierać do pracownika.

Uwaga

Więcej informacji odnośnie do przykładowych wartości MDE i maksymalnej mocy wiązki dla różnych długości fal, przy założonych czasach ekspozycji przedstawiono w przewodniku dla pracodawcy opracowanym przez Komisję Europejską, dostępnym do bezpłatnego skopiowania na stronie internetowej:

<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=738&langId=en&pubId=5926&type=2&furtherPubs=no>

Przewodnik ten występuje również w wersji polskojęzycznej pt. „*Niewiążący przewodnik dobrej praktyki wdrażania dyrektywy 2006/25/WE (sztuczne promieniowanie optyczne)* [5].

Literatura

1. 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>
2. Wolska A.: *Nielaserowe promieniowanie optyczne*. W: Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne. Wyd. 8 zmienione. Warszawa, CIOP-PIB 2012.
3. *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; 2012, poz. 787.

4. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2010, nr 141, poz. 950.*
5. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz. 166.*

7. Wyznaczanie poziomu ekspozycji

Wyznaczanie poziomu ekspozycji w przypadku promieniowania nielaserowego jest bardziej złożone niż w przypadku promieniowania laserowego. Wynika to z faktu, że pracownik narażony jest na promieniowanie nielaserowe o pewnym zakresie długości fal, a nie o jednej długości fali, jak ma to miejsce przy promieniowaniu laserowym. Zakres widmowy promieniowania wpływa istotnie na zakres oceny zagrożenia i determinuje rodzaj zagrożeń dla oczu i skóry, które powinny być uwzględnione w ocenie. Rodzaje rozpatrywanych zagrożeń dla zdrowia nielaserowym promieniowaniem optycznym przedstawiono w rozdziale 6.1.1. W ślad za wytypowanymi rodzajami zagrożeń, które powinny być uwzględnione w ocenie, idzie liczba niezbędnych do określenia poziomów ekspozycji eksponowanych części ciała pracownika, które następnie porównuje się z wyznaczonymi wartościami MDE.

Ważne

Porównanie wyznaczonej wartości poziomu ekspozycji (PE) z wartością MDE polega na obliczeniu krotności MDE (k), którą określa się ze wzoru:

$$k = \frac{PE}{MDE}$$

W zależności od krotności MDE określa się ryzyko zawodowe ze względu na poziom ekspozycji oraz częstotliwość wykonywania pomiarów, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych w środowisku pracy [3].

Uwaga. W poradniku przyjęto następujące kryteria oceny ryzyka ze względu na poziom ekspozycji na nielaserowe promieniowanie optyczne:

- duże, jeśli $PE > MDE$
- średnie, jeśli $0,7 MDE < PE \leq MDE$
- małe, jeśli $PE \leq 0,7 MDE$.

7.1. Kryteria oceny zagrożenia uwzględniane przy wyznaczaniu poziomów ekspozycji na promieniowanie optyczne

W Rozporządzeniu 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 [2] zostały ustalone kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym. Podane są w nim wzory do wyznaczania parametrów promieniowania optycznego określających poziomy ekspozycji odnośnie do promieniowania laserowego i nielaserowego.

Ze względu na zróżnicowanie zagrożeń oczu i skóry powodowanych przez poszczególne rodzaje i zakresy promieniowania optycznego (patrz rozdział 6.1.1) kryteria oceny zagrożenia odnoszą się:

- w przypadku promieniowania nielaserowego – osobno do promieniowania nadfioletowego oraz do promieniowania widzialnego i podczerwonego z zakresu IRA i IRB,
- w przypadku promieniowania laserowego – osobno do poszczególnych długości fal z całego zakresu promieniowania optycznego (w tym również z zakresu IRC).

7.1.1. Nielaserowe promieniowanie optyczne

W przypadku promieniowania nielaserowego zostały określone wzory do wyznaczania poziomów ekspozycji przy poszczególnych zagrożeniach oraz funkcje skuteczności widmowej szkodliwego oddziaływania:

- nadfioletu na skórę i oczy – $S(\lambda)$,
- światła niebieskiego na siatkówkę oka – $B(\lambda)$,
- promieniowania VIS i IRA na siatkówkę oka – $R(\lambda)$.

Ważne

- Wyznaczanie poziomów ekspozycji na nielaserowe promieniowanie optyczne wymaga, w zależności od rozpatrywanego zagrożenia, uwzględnienia odpowiedniego zakresu widmowego, a w niektórych przypadkach – funkcji skuteczności widmowej.
- Stosowanie określonych funkcji skuteczności widmowej modyfikuje parametry widmowego natężenia napromienienia, napromienienia lub luminancji energetycznej w celu uwzględnienia niekorzystnych dla zdrowia skutków, w zależności od długości fali. W przypadku zastosowania funkcji skuteczności widmowej otrzymane parametry nazywa się skutecznymi.

7.1.1.1. Nielaserowe promieniowanie nadfioletowe

W przypadku ekspozycji oczu na nadfiolet wyznacza się dwa parametry charakteryzujące poziom ekspozycji:

- skuteczne napromienienie promieniowaniem z zakresu $180 \div 400$ nm (H_s),
- napromienienie promieniowaniem UVA z zakresu $315 \div 400$ nm (H_{UVA}).

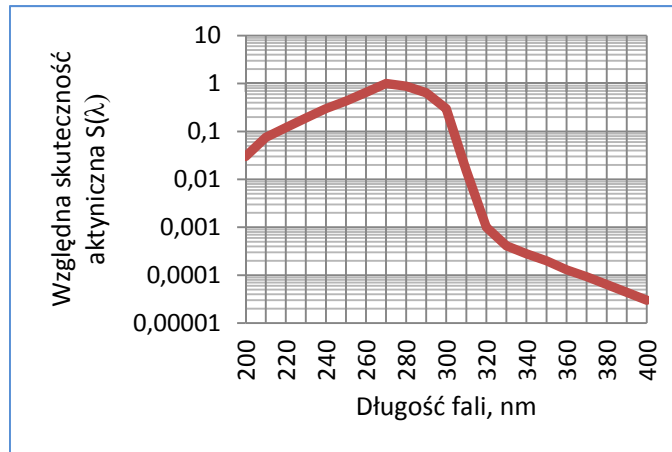
W przypadku ekspozycji skóry na nadfiolet wyznacza się jeden parametr charakteryzujący poziom ekspozycji – skuteczne napromienienie promieniowaniem z zakresu $180 \div 400$ nm.

Przy wyznaczaniu napromienienia nadfioletem przyjmuje się całkowity czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej, bez względu na długość jej trwania.

Najczęściej mierzonym parametrem promieniowania jest natężenie napromieniania, które mnoży się przez całkowity czas ekspozycji (patrz rozdział 6.1.3.1).

Do wyznaczania wartości skutecznej napromienienia promieniowaniem z zakresu $180 \div 400$ nm stosuje się rozkład widmowy względnej skuteczności aktywności promieniowania nadfioletowego $S(\lambda)$ [2, 5] przedstawiony na rysunku 7.1.

Rys. 7.1. Względna skuteczność aktywna promieniowania nadfioletowego $S(\lambda)$



Przykład 1. Ocena zagrożenia fotochemicznego nadfioletem

Stanowisko maszynisty wkleśtodrukowego, na którym źródłem promieniowania nadfioletowego jest lampa kontrolna z zainstalowaną świetlówką UVC (254 nm) o mocy 6 W. Ekspozycja pracownika występuje podczas czynności kontroli druków; pracownik jest ekspozycyjnie narażony na promieniowanie nadfioletowe odbite od powierzchni ocenianego papieru.

Dane pomiarowe:

- skuteczne natężenia napromienienia oczu: $E_s = 0,017 \text{ W/m}^2$,
- natężenie napromienienia promieniowaniem UVA: $E_{UVA} = 0,0016 \text{ W/m}^2$,
- całkowity czas ekspozycji: $t_c = 3\,650 \text{ s}$.

Określenie zagrożenia fotochemicznego rogówki i spojówki oczu:

Wartość MDE dla zagrożenia fotochemicznego rogówki i spojówki oczu wynosi: **30 J/m^2** .

Poziom ekspozycji: $H_s = E_s \cdot t_c = 0,017 \text{ W/m}^2 \cdot 3\,650 \text{ s} = \mathbf{62,05 \text{ J/m}^2}$.

krotność MDE: $k = 62,05 / 30 = 2,07$

Wniosek:

Występuje duże ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie rogówki i spojówki oczu promieniowaniem UV.

Określenie dozwolonego czasu ekspozycji:

$$t_{\text{doz}} = \frac{30}{E_s} = \frac{30}{0,017} = 1\,764 \text{ s}$$

Określenie zagrożenia fotochemicznego soczewki oczu:

Wartość MDE dla zagrożenia fotochemicznego soczewki oczu wynosi: **$10\,000 \text{ J/m}^2$** .

Poziom ekspozycji: $H_{UVA} = E_{UVA} \cdot t_c = 0,0016 \text{ W/m}^2 \cdot 3\,650 \text{ s} = \mathbf{5,84 \text{ J/m}^2}$.

krotność MDE: $k = 5,84 / 10\,000 = 0,000584$

Wniosek:

Występuje małe ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie soczewki oczu promieniowaniem UVA.

Określenie dozwolonego czasu ekspozycji:

$$t_{\text{doz}} = \frac{10\,000}{E_{UVA}} = \frac{10\,000}{0,0016} = 6\,250\,000 \text{ s} > 8 \text{ h}$$

Wnioski:

- Na badanym stanowisku występuje **zagrożenie fotochemiczne rogówki i spojówki oczu** promieniowaniem UV, przy wyznaczonym z pomiarów czasie całkowitej ekspozycji.
- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie fotochemiczne rogówki i spojówki oczu**, jeśli czas ekspozycji nie przekroczy 1 764 s w ciągu zmiany roboczej.

- Jeśli nie jest możliwe ograniczenie czasu ekspozycji, wówczas pracownik powinien być wyposażony w odpowiednie okulary ochronne.
- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie fotochemiczne soczewki oczu** promieniowaniem UVA, bez względu na czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej.

Uwaga

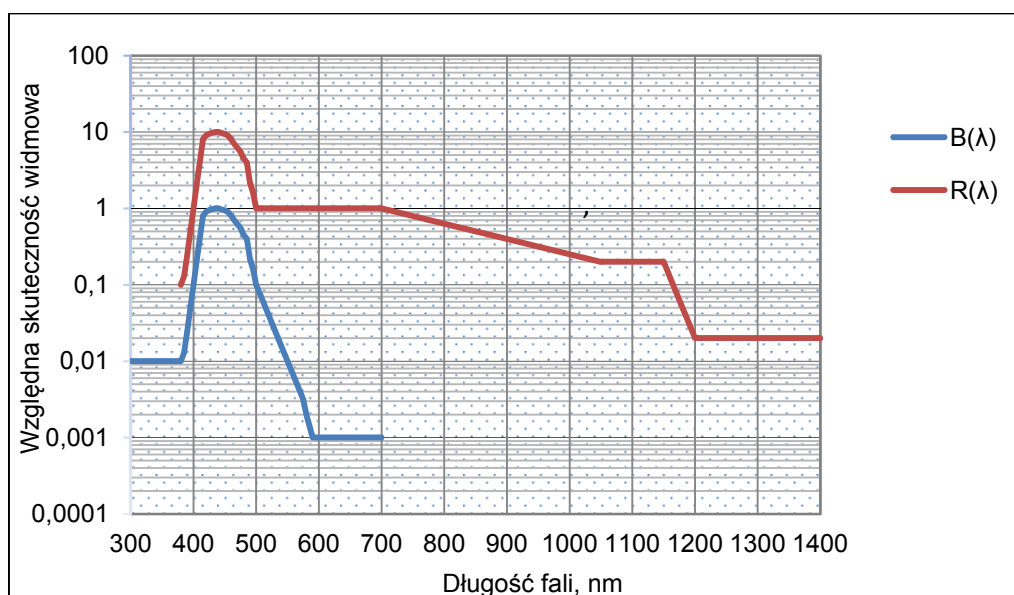
W przytoczonym przykładzie wartość zmierzona natężenia napromienienia promieniowaniem UVA jest mniejsza niż $0,347 \text{ W/m}^2$ ($E_{\text{UVA}} < 0,347 \text{ W/m}^2$). Wartość $0,347 \text{ W/m}^2$ jest wartością graniczną dla 8 h ekspozycji (patrz rozdział 6.1.3.2), wobec czego, bez konieczności wyznaczania dozwolonego czasu ekspozycji, można stwierdzić, że w tym przypadku nie wystąpi przekroczenie wartości MDE.

7.1.1.2. Nielaserowe promieniowanie widzialne i podczerwone

W przypadku ekspozycji **oczu** na promieniowanie widzialne i podczerwone wyznacza się 3 parametry w zależności od rozkładu widmowego emitowanego przez dane źródło.

Jeśli źródło emituje promieniowanie widzialne i podczerwień, to w zależności od kąta widzenia źródła α i czasu ekspozycji, wyznacza się następujące parametry charakteryzujące poziom ekspozycji oczu:

- skuteczne natężenie napromienienia (E_B) lub skuteczną luminancję energetyczną (L_B) promieniowaniem z zakresu $300 \div 700 \text{ nm}$ (światło niebieskie); do wyznaczania wartości skutecznych uwzględnia się rozkład widmowy względnej skuteczności uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka $B(\lambda)$ [2, 4] — rysunek 7.2 (przykład 2.),
- skuteczną luminancję energetyczną (L_R) promieniowaniem z zakresu $380 \div 1400 \text{ nm}$ (VIS i IRA); do wyznaczania wartości skutecznych uwzględnia się rozkład widmowy względnej skuteczności uszkodzenia termicznego siatkówki oka $R(\lambda)$ [2, 4] – rysunek 7.2 (przykład 3.),
- natężenie napromienienia (E_{IR}) promieniowaniem z zakresu $780 \div 3000 \text{ nm}$ (przykład 4.).



Rys. 7.2. Względna skuteczności uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka $B(\lambda)$ i uszkodzenia termicznego siatkówki oka $R(\lambda)$

W przypadku ekspozycji **skóry** na promieniowanie widzialne i podczerwone wyznacza się jeden parametr charakteryzujący poziom ekspozycji – napromienienie ($H_{skóra}$) promieniowaniem z zakresu $380 \div 3\,000$ nm. Ten poziom ekspozycji wyznacza się, **gdy czas jednorazowej ekspozycji nie przekracza 10 s**.

Przykład 2. Ocena zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka

Stanowisko operatora maszyny do pakowania, na którym źródłem promieniowania niebieskiego jest panel z linią niebieskich LED o wymiarach $0,14 \times 0,01$ m. Ekspozycja pracownika występuje podczas obserwacji podświetlania produktu światłem niebieskim przy wykonywaniu zdjęcia kodu. Odległość oczu pracownika od panelu diodowego wynosi 1 m.

Dane pomiarowe:

- skuteczna luminancja energetyczna: $L_B = 0,157 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$,
- całkowity czas ekspozycji: $t_c = 3\,360 \text{ s}$.

Wyznaczenie kąta widzenia źródła α :

- Określenie wielkości źródła

$$d_{\downarrow} = \frac{a + b}{2} = \frac{0,14 + 0,01}{2} = 0,075 \text{ m}$$

- Określenie wielkości pozornej źródła

$$d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos \vartheta = 0,075 \cdot \cos 10^\circ = 0,075 \cdot 0,98 = 0,073 \text{ m}$$

- Określenie kąta α

$$\alpha = \frac{d}{r} = \frac{0,073}{1} = 0,073 \text{ rad} = 73 \text{ mrad}$$

Określenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oczu:

Wartość MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oczu, przy $\alpha > 11 \text{ mrad}$ i $t_c < 10\,000 \text{ s}$ wynosi: $10^6 / t = 298 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$.

Poziom ekspozycji: $L_B = 0,157 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$.

$$\text{krotność MDE: } k = 0,157 / 298 = 0,000527$$

Wniosek:

Występuje małe ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie siatkówki oczu światłem niebieskim.

Określenie dozwolonego czasu ekspozycji:

$$t_{\text{doz}} = \frac{10^6}{L_B} = \frac{10^6}{0,157} = 6\,369\,426 \text{ s} > 8 \text{ h}$$

Wniosek:

- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie fotochemiczne siatkówki oczu** światłem niebieskim, bez względu na czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej.

Uwaga

W omawianym przykładzie wartość zmierzona skutecznej luminancji energetycznej jest mniejsza niż $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$ ($L_B < 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$). Wartość $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$ jest wartością graniczną dla czasów powyżej $10\,000 \text{ s}$, wobec czego bez konieczności wyznaczania czasu dozwolonej ekspozycji można stwierdzić, że nie wystąpi przekroczenie wartości MDE.

Przykład 3. Ocena zagrożenia termicznego siatkówki oka (silny bodziec świetlny)

Stanowisko operatora wytapiania stali podczas czynności wyciągania elektrody. Występuje wówczas ekspozycja pracownika na promieniowanie podczerwone i widzialne o silnym bodźcu świetlnym ($L > 10\,000\text{ cd/m}^2$). Odległość oczu pracownika od źródła $0,5 \div 3\text{ m}$. Wymiary rozgrzanej elektrody, będącej źródłem promieniowania, wynoszą $0,55 \times 2\text{ m}$. Odległość oczu pracownika od źródła wynosi 3 m .

Dane pomiarowe:

- skuteczna luminancja energetyczna: $L_R = 2\,731\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$,
- jednorazowy czas ekspozycji: $t_i = 600 \div 1\,200\text{ s}$.

Wyznaczenie kąta widzenia źródła α :

- Określenie wielkości źródła (przyjęto kierunek obserwacji prostopadły do powierzchni źródła)

$$d = d_{\downarrow} = \frac{a + b}{2} = \frac{0,55 + 2}{2} = 1,275\text{ m}$$

- Określenie kąta α

$$\alpha = \frac{d}{r} = \frac{1,275}{3} = 0,425\text{ rad} = 425\text{ mrad}$$

Określenie zagrożenia termicznego siatkówki oczu:

Wartość MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oczu, przy $\alpha > 100\text{ mrad}$ i $t_i > 10\text{ s}$, wynosi: $280\,000\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$.

Poziom ekspozycji: $L_R = 2\,731\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$.

$$\text{krotność MDE: } k = 2731 / 280\,000 = 0,0097$$

Wniosek:

Występuje małe ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie termiczne siatkówki oczu.

Wniosek:

- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie termiczne siatkówki oczu** promieniowaniem VIS i IRA, bez względu na jednorazowy czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej.

Uwaga

W omawianym przykładzie wartość zmierzona skutecznej luminancji energetycznej jest mniejsza niż $280\,000\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$ ($L_R < 280\,000\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$). Wartość $280\,000\text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$ jest wartością graniczną ekspozycji dla czasów powyżej 10 s . Nie ma w omawianym przypadku znaczenia, czy czas jednorazowej ekspozycji wynosi 600 s czy $1\,200\text{ s}$, gdyż w tym zakresie czasu wartość MDE jest stała.

Przykład 4. Ocena zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka

Stanowisko operatora wytapiania stali podczas czynności wyciągania elektrody (jak w przykładzie 2.).

Dane pomiarowe:

- natężenie napromienienia promieniowaniem podczerwonym: $E_{IR} = 4\,560\text{ W/m}^2$,
- jednorazowy czas ekspozycji: $t_i = 600 \div 1\,200\text{ s}$.

Określenie zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka

Wartość MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oczu zależy od czasu i dla obu możliwych czasów jednorazowej ekspozycji ma inną wartość:

- dla $t_i = 600\text{ s}$ wynosi: $18\,000 \cdot t_i^{-0,75} = 18\,000 \cdot 600^{-0,75} = 148,5\text{ W/m}^2$

Poziom ekspozycji: $E_{IR} = 4\,560\text{ W/m}^2$

krotność MDE: $k = 4\,560 / 148,5 = 30,7$

- dla $t_i = 1\,200\text{ s}$ wynosi: 100 W/m^2 .

Poziom ekspozycji: $E_{IR} = 4\,560\text{ W/m}^2$.

krotność MDE: $k = 4\,560 / 100 = 45,6$

Wniosek:

Występuje duże ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki przy obu czasach jednorazowej ekspozycji.

Wnioski:

- Na badanym stanowisku **występuje zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oczu** promieniowaniem IRA i IRB, bez względu na jednorazowy czas ekspozycji.
- Korzystając z wykresu 6.8, można wstępnie oszacować dopuszczalny maksymalny czas jednorazowej ekspozycji dla występującego poziomu ekspozycji oczu – wynosi on ok. 6 s. Czyli dla czasów do 6 s występujący poziom ekspozycji nie przekracza wartości MDE.

Uwaga

W omawianym przykładzie nie można ograniczyć poziomu ekspozycji poprzez odsunięcie pracownika od źródła, zatem ograniczenie może dotyczyć tylko czasu wykonywania czynności. Jednak ograniczenie 10-20-krotne czasu wykonywania danej czynności nie jest możliwe. Konieczne jest zatem stosowanie odpowiednich okularów ochronnych.

7.1.1.3. Nielaserowe promieniowanie podczerwone

Jeśli źródło emituje podczerwień (bez silnego bodźca świetlnego, tj. luminancja świetlna źródła $L < 10\,000\text{ cd/m}^2$), to w zależności od kąta widzenia źródła α i czasu jednorazowej ekspozycji wyznacza się następujące parametry charakteryzujące poziom ekspozycji oczu:

- skuteczną luminancję energetyczną (L_R) promieniowaniem z zakresu $780 \div 1\,400\text{ nm}$ (IRA); do wyznaczania wartości skutecznych uwzględnienia się rozkład widmowy względnej skuteczności uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka $R(\lambda)$ [2, 4] – rysunek 7.2 (przykład 5.),
- natężenie napromienienia (E_{IR}) promieniowaniem z zakresu $780 \div 3\,000\text{ nm}$.

W przypadku ekspozycji **skóry** na promieniowanie podczerwone wyznacza się jeden parametr charakteryzujący poziom ekspozycji – napromienienie ($H_{skóra}$) promieniowaniem z zakresu

780 ÷ 3 000 nm. Ten poziom ekspozycji wyznacza się, **gdy czas jednorazowej ekspozycji nie przekracza 10 s** (przykład 6.).

Uwaga

Wartości parametrów charakteryzujących poziom ekspozycji dla poszczególnych zagrożeń mogą być wyznaczone na podstawie pomiarów lub obliczeń.

Wzory wykorzystywane do wyznaczania poziomów ekspozycji podano w rozdziale 6., przy omawianiu wartości MDE.

Przykład 5. Ocena zagrożenia termicznego siatkówki oka (słaby bodziec świetlny)

Stanowisko operatora odlewania stali podczas czynności dodawania zasyпки. Występuje wówczas ekspozycja pracownika na promieniowanie podczerwone. Odległość oczu pracownika od źródła wynosi 3 m. Średnica otworu kadzi, w której znajduje się płynna stal – źródło promieniowania – wynosi 1 m. Odległość oczu pracownika od źródła wynosi 3 m. Kąt linii obserwacji względem powierzchni źródła $\vartheta = 60^\circ$.

Dane pomiarowe:

- skuteczna luminancja energetyczna: $L_R = 245 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$,
- jednorazowy czas ekspozycji: $t_i = 3 \text{ s}$.

Wyznaczenie kąta widzenia źródła α :

- Określenie wielkości źródła: $d_{\downarrow} = 1 \text{ m}$.
- Określenie wielkości pozornej źródła: $d_{\vartheta} = d_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ m}$.
- Określenie kąta α :

$$\alpha = \frac{d}{r} = \frac{0,5}{3} = 0,166 \text{ rad} = 166 \text{ mrad}$$

Określenie zagrożenia termicznego siatkówki oczu:

Wartość MDE dla zagrożenia termicznego siatkówki oczu, przy $\alpha > 100 \text{ mrad}$ i $t_i < 10 \text{ s}$ wynosi: $379\,918 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$.

Poziom ekspozycji: $L_R = 245 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$.

$$\text{krotność MDE: } k = 245 / 379\,918 = 0,00064$$

Wniosek:

Występuje małe ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie termiczne siatkówki oczu.

Wniosek:

- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie termiczne siatkówki oczu** promieniowaniem IRA, bez względu na jednorazowy czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej.

Uwaga

W omawianym przykładzie wartość zmierzona skutecznej luminancji energetycznej jest mniejsza niż $60\,000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$ ($L_R < 60\,000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$), która jest wartością graniczną ekspozycji dla zagrożenia termicznego siatkówki promieniowaniem IRA dla źródeł o kącie $\alpha > 100 \text{ mrad}$ (patrz rys. 6.7).

Przykład 6. Ocena zagrożenia termicznego skóry

Stanowisko operatora odlewania stali podczas czynności dodawania zasyпки – jak w przykładzie 4.

Dane pomiarowe:

- natężenie napromienienia: $E_{\text{skóra}} = 1\,556 \text{ W/m}^2$,
- jednorazowy czas ekspozycji: $t_i = 3 \text{ s}$.

Określenie zagrożenia termicznego skóry:

Wartość MDE dla zagrożenia termicznego skóry dla $t_i = 3 \text{ s}$ wynosi: $26\,321 \text{ J/m}^2$.

Poziom ekspozycji: $H_{\text{skóra}} = E_{\text{skóra}} \cdot t_i = 1\,556 \text{ W/m}^2 \cdot 3 \text{ s} = 4\,670 \text{ J/m}^2$.

$$\text{krotność MDE: } k = 4\,670 / 26\,321 = 0,177$$

Wniosek:

Występuje małe ryzyko zawodowe ze względu na zagrożenie termiczne skóry.

Wniosek:

- Na badanym stanowisku **nie wystąpi zagrożenie termiczne skóry** promieniowaniem IRA, bez względu na jednorazowy czas ekspozycji.

Uwaga

W omawianym przykładzie wartość zmierzona natężenia napromienienia była niższa niż $3\,557 \text{ W/m}^2$. Wartość $3\,557 \text{ W/m}^2$ jest wartością graniczną natężenia napromienienia dla zagrożenia termicznego skóry (patrz rys. 6.10).

7.1.2. Promieniowanie laserowe

Poziomy ekspozycji wyznaczane dla promieniowania laserowego wyrażane są natężeniem napromienienia lub napromienieniem promieniowaniem o danej długości fali emitowanej przez urządzenie laserowe. Przy ich wyznaczaniu nie ma potrzeby uwzględniania funkcji skuteczności widmowej, gdyż cała energia / moc promieniowania jest emitowana przez promieniowanie o jednej długości fali. Wartość poziomu ekspozycji porównuje się bezpośrednio z odpowiadającą danej długości fali wartością MDE. Wartość MDE wyznacza się zgodnie z opisem przedstawionym w rozdziale 6.2.

Sposób wyznaczania poziomów ekspozycji na podstawie pomiarów mocy / energii promieniowania lub danych urządzenia laserowego jest dość skomplikowana i zaleca się, aby wykonywała je osoba do tego przygotowana merytorycznie. W przewodniku UE [1] znajduje się tabela, w której zestawiono wyniki obliczeń maksymalnej mocy przenikającej przez aperturę ograniczającą zanim zostanie przekroczona wartość MDE dla ekspozycji oka. Obliczenia wykonano dla różnych długości fal z całego zakresu promieniowania optycznego, przyjmując graniczne czasy ekspozycji i tryb pracy ciągłej lasera.

7.2. Wyznaczanie luminancji energetycznej na podstawie pomiaru natężenia napromienienia

W przypadku, gdy nie ma możliwości zmierzenia luminancji energetycznej (L_e) w danym zakresie widmowym, można ją wyznaczyć na podstawie pomiaru natężenia napromienienia (E_e) promieniowaniem z tego zakresu. Aby to wykonać, niezbędne jest określenie kąta bryłowego (ω), w jakim widziana jest powierzchnia źródła.

<p>Powierzchnia źródła – A_{\downarrow} (w przypadku, gdy źródło jest obserwowane prostopadle do jego powierzchni)</p> <ul style="list-style-type: none"> równa polu powierzchni źródła (np. koła – w przypadku źródeł okrągłych, prostokąta – w przypadku źródeł prostokątnych).
<p>Powierzchnia widoczna źródła – A_{ϑ} (tzw. <i>pozorna powierzchnia świecąca źródła</i>) (w przypadku, gdy źródło jest obserwowane pod kątem ϑ względem prostopadłej do jego powierzchni)</p> <p>$A_{\vartheta} = A_{\downarrow} \cdot \cos\vartheta$ ϑ – kąt linii obserwacji źródła, przedstawiony na rys. 6.1.</p>
<p>Obliczanie kąta bryłowego ω (na podstawie [1])</p> <p>$\omega = \frac{A}{r^2}$ w steradianach (sr) A – powierzchnia źródła (w zależności od kąta ϑ będzie to A_{\downarrow} lub A_{ϑ}), r – odległość oka (detektora) od źródła.</p>
<p>Uwaga</p> <p>Jest to metoda uproszczona, przedstawiona w poradniku UE [1]. Zgodnie z normą [4] w przypadku źródeł o kształcie powierzchni innej niż kołowa, powierzchnię A wylicza się w inny sposób. Przyjmuje się założenie, że jest to źródło o powierzchni kołowej, którego pole powierzchni jest równe polu powierzchni danego źródła. Oba sposoby wyznaczania kąta ω są dozwolone.</p>
<p>Obliczanie luminancji energetycznej, w $W/(m^2 \text{ sr})$</p> $L_e = \frac{E_e}{\omega}$ <p>E_e – zmierzone natężenie napromienienia w danym zakresie widmowym, w W/m^2.</p>

Przykład 7. Wyznaczanie luminancji energetycznej na podstawie pomiarów natężenia napromienienia

Zmierzone skuteczne natężenia napromienienia oczu promieniowaniem niebieskim emitowanym przez rzutnik projektora obrazów w odległości 0,5 m wynosi: $E_B = 5,33 \text{ W/m}^2$. Średnica źródła wynosi 8 cm. Jaka będzie skuteczna luminancja energetyczna źródła, przy założeniu, że linia obserwacji jest prostopadła do powierzchni źródła?

- Wyznaczenie powierzchni widocznej źródła – A

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

- Wyznaczenie kąta ω

$$\omega = \frac{A}{r^2} = \frac{0,005}{0,5^2} = 0,02 \text{ sr}$$

- Wyznaczenie skutecznej luminancji energetycznej

$$L_B = \frac{E_B}{\omega} = \frac{5,33}{0,02} = 266,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

7.3. Przeliczanie natężenia napromienienia przy różnych odległościach od źródła

Wyznaczenie wartości natężenia napromienienia przy innych, niż zmierzone, odległościach przebywania pracownika od źródła może być przydatne w sytuacjach, gdy:

- wskazane jest ograniczenie poziomu ekspozycji i możliwe jest oddalenie pracownika od źródła,
- wystąpiła zmiana usytuowania pracownika względem źródła.

W tym celu można zastosować fotometryczne prawo odległości.

Fotometryczne prawo odległości dla źródeł punktowych

W przypadku **źródeł punktowych** natężenie napromienienia w danym punkcie powierzchni (E) jest wprost proporcjonalne do natężenia promieniowania wysyłanego przez źródło w kierunku tego punktu (I_e) i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości między źródłem a tym punktem (r):

$$E = \frac{I_e}{r^2}$$

Uwaga: źródło uznajemy za punktowe, gdy odległość ekspozowanej tkanki od źródła jest co najmniej 5-krotnie większa od największego wymiaru źródła ($r \geq 5d$).

Prawo to można wyrazić również wzorem:

$$E_1 \cdot r_1^2 = E_2 \cdot r_2^2$$

gdzie:

E_1 – natężenie napromienienia w odległości r_1 ,

E_2 – natężenie napromienienia w odległości r_2 .

Prezentację graficzną prawa dla źródeł punktowych przedstawiono na rysunku 7.3.



Rys. 7.3. Źródło punktowe – prezentacja graficzna fotometrycznego prawa odległości

Fotometryczne prawo odległości dla źródeł rozciągliwych

W przypadku **źródeł rozciągliwych** przyjmuje się tzw. wzór z poprawką, służący do wyznaczenia natężenia napromienienia przy innej odległości od źródła:

$$E_2 \cdot r_2^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{2r_2} \right)^2 \right] = E_1 \cdot r_1^2 \left[1 + \left(\frac{d}{2r_1} \right)^2 \right]$$

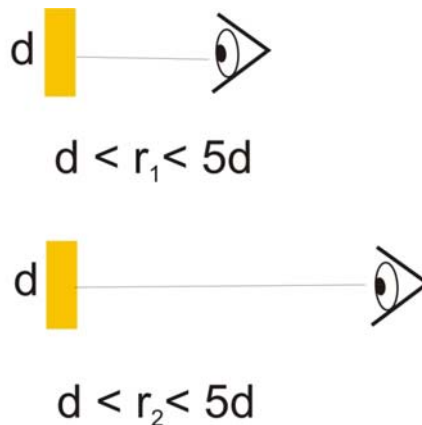
gdzie:

E_1 – natężenie napromienienia w odległości r_1 ,

E_2 – natężenie napromienienia w odległości r_2 .

Uwaga: źródło uznajemy za rozciągłe, gdy odległość ekspozowanej tkanki od źródła jest mniejsza niż 5-krotny największy wymiar źródła ($r < 5d$), ale nie mniejsza niż największy wymiar źródła ($r \geq d$).

Prezentację graficzną tego prawa dla źródeł punktowych przedstawiono na rysunku 7.4.



Rys. 7.4. Źródło rozciągłe – prezentacja graficzna fotometrycznego prawa odległości

Ważne

Jako największy wymiar źródła promieniowania określa się:

- w przypadku źródeł okrągłych – średnicę,
- w przypadku źródeł prostokątnych lub wielokątów – przekątną.

Przykład 8.

Natężenie napromienienia ekspozowanej tkanki w odległości $r_1 = 1$ m od źródła promieniowania wynosi $E_1 = 0,1$ W/m². Wyznaczyć natężenia napromienienia ekspozowanej tkanki dla następujących warunków:

- odległość od źródła $r_2 = 0,5$ m, a największy wymiar źródła $d = 2$ cm,
- odległość od źródła $r_2 = 0,5$ m, a największy wymiar źródła $d = 25$ cm.

Rozwiązanie

Przypadek a)

Odległości ekspozowanej tkanki od źródła są większe niż pięciokrotna wartość największego wymiaru źródła, można przyjąć, że źródło jest punktowe, w związku z tym:

$$E_2 = \frac{E_1 \cdot r_1^2}{r_2^2} = \frac{0,1 \cdot 1^2}{0,5^2} = 0,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Przypadek b)

Odległości eksponowanej tkanki od źródła są z zakresu $d \leq r < 5d$, można przyjąć, że źródło jest rozciągnięte i stosować wzór z poprawką, czyli:

$$E_2 = \frac{E_1 r_1^2 \left[1 + \left(\frac{d}{2r_1} \right)^2 \right]}{r_2^2 \left[1 + \left(\frac{d}{2r_2} \right)^2 \right]} = \frac{0,1 \cdot 1^2 \left[1 + \left(\frac{0,25}{2 \cdot 1} \right)^2 \right]}{0,5^2 \left[1 + \left(\frac{0,25}{2 \cdot 0,5} \right)^2 \right]} = 0,38 \dots \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \dots$$

Przykład 9.

Natężenie napromienienia promieniowaniem nadfioletowym skóry twarzy wynosi $E_1 = 0,05 \text{ W/m}^2$ przy odległości pracownika od źródła promieniowania wynoszącej $r_1 = 1,5 \text{ m}$. Największy wymiar źródła wynosił $0,2 \text{ m}$. Przy jakiej odległości od źródła r_2 natężenie napromienienia będzie wynosiło co najwyżej:

- a) $E_2 = 0,001 \text{ W/m}^2$,
- b) $E_2 = 0,01 \text{ W/m}^2$?

Rozwiązanie

Odległość eksponowanej tkanki od źródła jest większa niż pięciokrotna wartość największego wymiaru źródła, czyli można przyjąć, że źródło jest punktowe. Po przekształceniu wzoru dla źródeł punktowych otrzymujemy:

Przypadek a)

$$r_2 = \sqrt{\frac{E_1 \cdot r_1^2}{E_2}} = \sqrt{\frac{0,05 \cdot 1,5^2}{0,001}} = 10,6 \text{ m}$$

Przypadek b)

$$r_2 = \sqrt{\frac{E_1 \cdot r_1^2}{E_2}} = \sqrt{\frac{0,05 \cdot 1,5^2}{0,01}} = 3,35 \text{ m}$$

Ważne

Dysponując danymi pomiarowymi poziomu natężenia napromienienia przy określonej geometrii pomiarowej (odległość pomiaru, położenia oka obserwatora względem powierzchni źródła), wymiarami geometrycznymi źródła oraz czasem ekspozycji, można wyznaczać:

- natężenie napromienienia przy innych odległościach pracownika,
- dozwolone czasy ekspozycji przy danej wartości poziomu promieniowania,
- luminancję energetyczną na podstawie pomiaru natężenia napromienienia.

Uwaga

W załączniku 2. przedstawiono przykłady wyznaczonych poziomów ekspozycji pracowników i oceny ryzyka ze względu na poziom promieniowania na różnego rodzaju stanowiskach pracy w przemyśle, w tym na różnego rodzaju „gorących” stanowiskach pracy.

Literatura

1. 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>
2. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne.* DzU 2010, nr 100, poz. 643; 2012, poz. 787.
3. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.* DzU 2011, nr 33, poz. 166.
4. PN-T-05687:2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy.*
5. PN-T-06589:2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.*

Przykłady wyznaczonych grup ryzyka dla typowych elektrycznych źródeł promieniowania optycznego

PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA DLA TYPOWYCH PROMIENNIKÓW UV

Tabela Z.1-1. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych promienników UV 107

PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA DLA TYPOWYCH ŚWIETLÓWEK PROSTYCH STOSOWANYCH W OŚWIETLENIU OGÓLNYM

Tabela Z.1-2. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych świetlówek liniowych stosowanych do ogólnych celów oświetleniowych 108

PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA DLA TYPOWYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA STOSOWANYCH JAKO ZAMIENNIKI ŻARÓWEK

Tabela Z.1-3. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych świetlówek kompaktowych 109

Tabela Z.1-4. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych żarówek halogenowych 110

Tabela Z.1-5. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych źródeł ledowych 111

**PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA
DLA TYPOWYCH PROMIENNIKÓW UV**

Tabela Z.1-1. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych promienników UV [4, 5]

Rodzaj promiennika UV	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie				
		aktyczne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka
Świetlówka superaktywna, 20 W	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Świetlówka do fototerapii noworodków, 20 W	1			1		
Świetlówka aktywna reflektorowa, 40 W	1			1		
Świetlówka z czarnym luminoforem, 18 W (lampa Wooda)	1	1		wolna od ryzyka		
Świetlówka UVB - do celów dermatologicznych, 20 W	2	2		1		
Świetlówka solaryjna, 20 W	1	wolna od ryzyka		1		
Świetlówka superaktywna do akwariów, 20 W	2	2		1		
Świetlówka UVC - bakterioobójcza, 11 W (niezintegrowana dwururowa)	3	3		1		

**PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA
DLA TYPOWYCH ŚWIETŁÓWEK PROSTYCH
STOSOWANYCH W OŚWIETLENIU OGÓLNYM**

Tabela Z.1-2. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych świetlówek liniowych stosowanych do ogólnych celów oświetleniowych [4, 5]

Rodzaj świetlówki liniowej do ogólnych celów oświetleniowych	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie				
		aktywniczne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka
Świetlówka 18 W /950	1	1	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Świetlówka 18 W /965	1	wolna od ryzyka		1		
Świetlówka 18 W /930	1			1		
Świetlówka 18 W /865 HE	1			1		
Świetlówka 36 W /827 (producent nieznany)	1			1		
Świetlówka 36 W /865 (producent nieznany)	1	1		1		

**PRZYKŁADY WYZNACZONYCH GRUP RYZYKA
DLA TYPOWYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA STOSOWANYCH JAKO ZAMIENNIKI ŻARÓWEK**

Tabela Z.1-3. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych świetlówek kompaktowych [4, 5]

Rodzaj świetlówki kompaktowej	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie				
		aktyczne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka
Niezintegrowana 2-rurkowa 11 W/31-830	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Zintegrowana reflektorowa 11 W/825, R63	1			1		
Zintegrowana reflektorowa R 63 11 W	1			1		
Zintegrowana 4-rurkowa 18 W 2700 K	1			1		
Zintegrowana reflektorowa typu <i>downlighter</i> PAR 23 W/827	1			1		
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną 15 W/827	1			1		
Zintegrowana 6-rurkowa 20 W	1			1		
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną 20 W/2500 K	1			1		
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną 15 W/2700 K	1			1		
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną, 14 W	1			1		
PLATINUM 24 W/827	1			1		
<i>Downlighter</i> R80 20 W/827	1	1	1			
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną 15 W/2700 K	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Zintegrowana reflektorowa – „żarówka energooszczędna” 7 W/2700	1			1		
Zintegrowana 4-rurkowa Electronic, 20 W/827	1			1		
Zintegrowana 6-rurkowa Electronic 23 W/827	1			1		
Zintegrowana 6-rurkowa Electronic 33 W/827	1			1		
Zintegrowana 6-rurkowa Electronic 33 W/865	1			1		
Zintegrowana z dodatkową bańką opalizowaną „żarówka energooszczędna” 15 W, ciepłobiała	1			1		

Tabela Z.1-3., cd.

Rodzaj świetłówki kompaktowej	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie				
		aktywnicne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka
Zintegrowana spiralna - „żarówka energooszczędna” 15 W, ciepłobiała	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Zintegrowana spiralna 23 W/865	1			1		
Zintegrowana spiralna 45 W/827	1			1		
Zintegrowana spiralna 23 W/827	1			1		
Zintegrowana spiralna <i>energy saaving</i> , 23 W/ 827	1			1		

Tabela Z.1-4. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych żarówek halogenowych [3, 4, 5]

Rodzaj żarówki halogenowej energooszczędnej	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie				
		aktywnicne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka
Żarówka halogenowa A z bańką opalizowaną, 60 W	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka
Żarówki halogenowe z bańką przezroczystą, 20 i 70 W, zamienniki ŻGS*	1			1		
Żarówki halogenowe z bańką przezroczystą, 105 i 140 W, zamienniki ŻGS*	2			2		
Żarówka halogenowa reflektorowa typu PAR z zimnym lustrem, 50 W, 30°	2			2	2	
Żarówka halogenowa reflektorowa z zimnym lustrem 35 W, 40°	1			1	wolna od ryzyka	
Żarówka halogenowa reflektorowa typu SPOT 42 W, 30°	2			2	2	
Żarówka halogenowa reflektorowa typu SPOT 28 W, 30°	1			1	wolna od ryzyka	
Żarówka halogenowa A reflektorowa typu PAR, 75 W, 10°	2			2		

* ŻGS — żarówka głównego szeregu.

Tabela Z.1-5. Wyznaczone grupy ryzyka dla przykładowych źródeł ledowych [3, 4, 5]

Rodzaj źródła ledowego jako zamiennika żarówki głównego szeregu	Przyjęta grupa ryzyka	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie					
		aktyczne	UVA	fotocemiczne siatkówki oka	termiczne siatkówki oka	termiczne rogówki i soczewki oka	
Źródło ledowe z bańką opalizowaną, 8 W, 3 000 K	1	1	wolna od ryzyka	1	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka	
Źródło ledowe z bańką przezroczystą, 3 W, LED-y 100 mW, przewlekane pionowo w osi źródła	1	wolna od ryzyka		1			
Źródło ledowe z bańką przezroczystą,, 1 LED 2 W z układem optycznym	1			1			
Źródło ledowe reflektorowe z zimnym lustrem 2,8 W, LED-y 100 mW wypełniające „prysznicowo” powierzchnię kołową	1			1			
Źródło ledowe reflektorowe akcentowe, 4 W, 10°	2			1			2
Źródło ledowe reflektorowe typu SPOT, 7 W, 40°	wolna od ryzyka	wolna od ryzyka		wolna od ryzyka			wolna od ryzyka
Źródła ledowe reflektorowe (3 x LED) typu PAR , 2 i 5 W, kąty wypromieniowania 30° i 20°	2			2			
Źródło ledowe reflektorowe (1 x LED) typu PAR , 4,5 W, chłodnobiałe	2			2			
Źródło ledowe reflektorowe (1 x LED) typu PAR , 4,5 W, ciepłobiałe	1			1			
Źródło ledowe reflektorowe (3 x LED) typu PAR, 6 W, 15°, ciepłobiałe	2			2			
Źródło ledowe reflektorowe (1 x LED), 3 W, ciepłobiałe	2		2	2			

Przykłady oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym

2a. PRZYKŁADY OCENY ZAGROŻENIA PRZY EKSPOZYCJI NA WYBRANE ELEKTRYCZNE ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA 115

Tabela Z.2a-1. Zestawienie wyników oceny zagrożenia dla źródeł elektrycznych	116
---	-----

2b. PRZYKŁADY OCENY ZAGROŻENIA NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W PRZEMYSŁE 119

Tabela Z.2.b-1. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozycji części ciała na stanowisku kontroli penetracyjnej	120
Tabela Z.2.b-2. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozycji części ciała na stanowisku kontroli jakości	122
Tabela Z.2.b-3. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą TIG	124
Tabela Z.2.b-4. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą TIG	126
Tabela Z.2.b-5. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą MAG	128
Tabela Z.2.b-6. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą MMA	130
Tabela Z.2.b-7. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania gazowego	132
Tabela Z.2.b-8. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania gazowego	134
Tabela Z.2.b-9. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku wytapiacza przy piecu tyglowym	136

Tabela Z.2.b-10. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku zalewacza kadzi	138
Tabela Z.2.b-11. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku zalewacza form	140
Tabela Z.2.b-12. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku kadziowego	142
Tabela Z.2.b-13. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora wytapiania stali przy piecu łukowym	144
Tabela Z.2.b-14. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora wytapiania stali przy kadziach głównych	146
Tabela Z.2.b-15. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora odlewania stali na linii ciągłego odlewania	148
Tabela Z.2.b-16. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku laboranta na linii ciągłego odlewania stali	149
Tabela Z.2.b-17. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku piecowego	151
Tabela Z.2.b-18. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku walcownika	152
Tabela Z.2.b-19. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku hutnika bańkarza	154
Tabela Z.2.b-20. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku hutnika dmuchacza	156
Tabela Z.2.b-21. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora pieca tunelowego zamkniętego	157
Tabela Z.2.b-22. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora pieca tunelowego otwartego	159
Tabela Z.2.b-23. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora pieca hartowniczego – elektrycznego komorowego	160
Tabela Z.2.b-24. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego eksponowanych części ciała na stanowisku operatora pieca hartowniczego – silitowego komorowego	161

PRZYKŁADY OCENY ZAGROŻENIA PRZY EKSPOZYCJI NA WYBRANE ELEKTRYCZNE ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA (krotność MDE, k , wyznaczona dla 8-godzinnej ekspozycji)

W tabeli Z.2a-1 zestawiono wyniki oceny zagrożenia dla różnych elektrycznych źródeł promieniowania. Wykorzystano dane pochodzące z poradnika UE pt. *Niewiązący przewodnik dobrej praktyki wdrażania dyrektywy 2006/25/WE* [1] – w tabeli pozycje 1-20 oraz z badań własnych – pozycje 21-44 [4, 5]. **Jako czas ekspozycji przyjęto 8 h.**

W związku z przyjętym 8-godzinnym czasem ekspozycji przyjęte wartości MDE dla poszczególnych zagrożeń były następujące:

- zagrożenie aktyczne UV – $H_s = 30 \text{ J/m}^2$,
- zagrożenie fotochemiczne UVA – $H_{\text{UVA}} = 10\,000 \text{ J/m}^2$,
- zagrożenie fotochemiczne siatkówki – $L_B = 100 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{sr)}$,
- zagrożenie termiczne siatkówki $L_R = 280\,000 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{sr)}$ – źródła o $L \geq 10\,000 \text{ cd/m}^2$,
- zagrożenie termiczne siatkówki $L_R = 60\,000 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{sr)}$ – źródła o $L < 10\,000 \text{ cd/m}^2$.

Uwaga

W tabeli Z.2a-1 nie uwzględniono oceny zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oka, gdyż:

- można przyjąć, że takie zagrożenie nie występuje dla przedstawionych w tabeli źródeł promieniowania, ponieważ poziom promieniowania IRA i IRB jest mniejszy od 100 W/m^2 ,
- w poradniku UE nie podano wyników tej oceny i występowałaby niespójność w tabeli, gdyby były w niej wyniki odnoszące się tylko do części źródeł.

Krotności MDE, k , wyznaczono jako iloraz wartości poziomu ekspozycji (PE) i wartości MDE:

$$k = \frac{\text{PE}}{\text{MDE}}$$

Tabela Z.2a-1. Zestawienie wyników oceny zagrożenia dla źródeł elektrycznych [1, 4, 5]. Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenia wartości MDE (ryzyko duże)

Lp.	Źródło	Odległość m	k			
			zagrożenie fotochemiczne UV		zagrożenie siatkówki	
			aktyczne	UVA	fotochemiczne	termiczne
1.	Oprawa świetlówkowa 3x36 W z kloszem rozpraszającym	1	< 0,01	0,05	0,01	< 0,01
2.	Oprawa świetlówkowa 1x58 W z rastrem i odbłyśnikiem aluminizowanym	1	0,58	0,35	0,19	< 0,01
3.	Oprawa świetlówkowa 4x18 W z rastrem i odbłyśnikiem aluminizowanym	1	1	0,33	0,13	< 0,01
4.	Monitor z lampą kineskopową	0,1	0,12	0,02	< 0,01	< 0,1
5.	Monitor LCD komputera przenośnego	0,1	0,07	0,01	< 0,01	< 0,01
6.	Naświetlacz z lampą metalohalogenową 70 W	1	0,1	2,6	2,3	1,08
7.	Naświetlacz ze świetlówką kompaktową 26 W	1	0,01	< 0,01	0,15	< 0,01
8.	Oprawa owadobójcza z promiennikami UVA o łącznej mocy 25 W	1	0,01	0,1	< 0,01	< 0,1
9.	Żarówka halogenowa 50 W w oprawie punktowej nasufitowej	1	0,03	0,04	0,13	0,01
10.	Lampa miejscowa nabiurkowa z żarówką 60 W	0,5	0,05	0,05	< 0,01	< 0,01
11.	Lampa miejscowa nabiurkowa z żarówką 60 W symulującą światło dzienne (barwiona bańka)	0,5	0,11	0,08	0,14	0,19
12.	Fotokopiarka	0,3	0,01	0,06	0,06	< 0,01
13.	Rzutnik (projektor) w obudowie nabiurkowej	2	0,03	< 0,01	2,2	0,89
14.	Rzutnik (projektor) przenośny	2	< 0,01	< 0,01	0,44	0,1
15.	Cyfrowa tablica interaktywna	2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
16.	Downlighter ze świetlówką kompaktową 26 W	1	0,04	0,16	0,16	< 0,01
17.	Wskaźnik diodowy na klawiaturze	0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
18.	Palm top (ekran)	0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
19.	Oprawa z lampą Wooda (czarna świetlówka UVA) 20 W	0,5	0,03	0,51	< 0,01	< 0,01
20.	Oprawa uliczna z lampą metalohalogenową 150 W	1	< 0,01	0,08	0,09	0,02
21.	Źródło LED reflektorowe 3 W chłodnobiałe	1	0,4	< 0,01	0,05	< 0,01
22.	Źródło LED z bańką przezroczystą, R50, 6 W, 15D, ciepłobiałe	1	0,1	< 0,01	501	1,0
23.	Źródło LED z bańką opalizowaną 5 W	1,5	0,023	< 0,01	5,5	0,012
24.	Źródło LED reflektorowe 3 W chłodnobiałe	1	0,511	< 0,01	974	1,43
25.	Źródło LED reflektorowe akcentowe 4 W, 10D, ciepłobiałe	1	3,0	< 0,01	244	0,6

Tabela Z.2a-1., cd.

Lp.	Źródło	Odległość m	k			
			zagrożenie fotochemiczne UV		zagrożenie siatkówki	
					fotochemiczne	termiczne
26.	Żarówka halogenowa energooszczędna z odbłyśnikiem aluminiowym (zimne lustro) 50 W, 30D	1	1,4	< 0,01	169	1,5
27.	Żarówka halogenowa z bańką przezroczystą 70 W	1	0,2	< 0,01	93	0,6
28.	Żarówka halogenowa z odbłyśnikiem halogenowym (zimne lustro) 35 W, 230 V, 40D	1,2	0,1	< 0,01	76	0,51
29.	Żarówka halogenowa z bańką opalizowaną 230 V, 60 W (przód)	2,5	0,005	< 0,01	2	0,011
30.	Żarówka halogenowa z bańką opalizowaną 230 V, 60 W (bok)	2,4	0,004	< 0,01	4	0,013
31.	Świetlówka kompaktowa spiralna 23 W/827 230-240 V	1,5	0,072	< 0,01	16	0,035
32.	Świetlówka kompaktowa 24 W/827	1,7	0,1	< 0,01	15	0,028
33.	Świetlówka kompaktowa niezintegrowana 11 W/31-830	0,6	0,1	< 0,01	8	0,05
34.	Świetlówka liniowa 18 W/950	0,8	0,3	0,17	9	0,03
35.	Świetlówka liniowa 36 W /827	0,7	1,6	0,65	1,1	0,25
36.	Świetlówka liniowa superaktywna 20 W	1	< 0,01	0,25	5,6	0,02
37.	Świetlówka superaktywna do akwariów 20 W	1	0,02	< 0,01	30,5	0,11
38.	Świetlówka aktywna reflektorowa 40 W	1	< 0,01	0,96	5,4	0,02
39.	Świetlówka liniowa do terapii noworodków 20 W	1	0,01	< 0,01	28,1	0,10
40.	Świetlówka solaryjna 20 W	1	0,92	0,48	2,56	0,01
41.	Lampa Wooda 20 W (UVA czarna)	1	0,02	0,29	0,2	< 0,01
42.	Lampa Wooda 18 W (UVA czarna)	0,8	0,02	0,66	0,7	< 0,01
43.	Świetlówka dermatologiczna 20 W	1	17,6	0,09	1,7	0,01
44.	Świetlówka kompaktowa niezintegrowana UVC 11 W w oprawie z białym odbłyśnikiem	0,6	619,19	0,09	6,7	0,03

Omówienie tabeli Z.2a-1

Przy założeniu 8-godzinnej ekspozycji występują znaczne przekroczenia wartości MDE odnośnie do zagrożenia:

- **fotocemicznego siatkówki oka** – przy ekspozycji na promieniowanie:
 - źródeł światła, które są zamiennikami żarówek głównego szeregu (źródła ledowe, żarówki halogenowe, świetlówki kompaktowe),
 - świetlówek liniowych stosowanych do ogólnych celów oświetleniowych,

- wysokoprężnych źródeł światła (lampa metalohalogenkowa w naświetlaczu i rzutnik nabiurkowy),
- świetlówek specjalnych emitujących promieniowanie z różnych zakresów UV (oprócz lampy Wooda),
- **fotokchemicznego oczu i skóry (aktywnicne)** – zwłaszcza przy ekspozycji na promieniowanie świetlówek UVC i świetlówek dermatologicznej. Występuje również dla niektórych źródeł ledowych reflektorowych, żarówek halogenowych z odbłyśnikiem aluminiowym i świetlówek liniowych (bez oznaczenia producenta),
- **fotokchemicznego soczewki oka promieniowaniem UVA** – stwierdzono tylko przy ekspozycji na promieniowanie lampy metalohalogenkowej w naświetlaczu. Przy ocenie zagrożenia fotokchemicznego siatkówki oka wartości MDE są takie same dla czasu 10 000 s jak i dłuższych, wobec czego należy uznać, że przekroczenia MDE występują już od czasu jednorazowej ekspozycji wynoszącego 10 000 s,
- **termicznego siatkówki oka** – przy ekspozycji na źródła światła, takie jak: lampa metalohalogenkowa w naświetlaczu, niektóre źródła ledowe reflektorowe, żarówka halogenowa z odbłyśnikiem aluminiowym. Przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka wartości MDE są takie same dla czasu 10 s jak i dłuższych, wobec czego należy uznać, że przekroczenia MDE występują już od czasu jednorazowej ekspozycji wynoszącego 10 s.

Uwaga

Należy pamiętać, że źródła światła, np. świetlówek, zostały zaklasyfikowane do grupy ryzyka 1 ze względu na zagrożenie fotokchemiczne siatkówki oka (patrz załącznik 1.), w której zakłada się bezpieczeństwo dla czasu całkowitej ekspozycji poniżej 100 s. Natomiast przy ekstremalnych warunkach obserwacji przez ponad 10 000 s w ciągu zmiany roboczej, występują dla tych źródeł znaczne przekroczenia wartości MDE = 100 W/m² (maksymalnie $k = 16$).

W przypadku niektórych żarówek halogenowych i źródeł ledowych, które zakwalifikowano do 2 grupy ryzyka (ryzyko umiarkowane), w której zakłada się bezpieczeństwo dla czasów do 0,25 s, wydłużenie czasu ekspozycji do ponad 10 000 s w ciągu zmiany roboczej, powoduje znacznie większe przekroczenia MDE (maksymalnie $k = 974$).

Ważne

Należy ostrożnie podchodzić do stosowania źródeł o niskiej klasie ryzyka w warunkach ekspozycji odbiegających od założonych czasów ekspozycji bezpiecznej.

PRZYKŁADY OCENY ZAGROŻENIA NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W PRZEMYSŁE

W niniejszym załączniku przedstawiono wyniki pomiarów poziomu promieniowania, poziomu ekspozycji i oceny ryzyka ze względu na poszczególne zagrożenia dla zdrowia na różnych stanowiskach pracy w przemyśle. Zwrócono szczególną uwagę na technologiczne źródła promieniowania, tj. łuk spawalniczy i płomień spawalniczy oraz „gorące” stanowiska pracy w hutach, odlewniach i przy piecach hartowniczych.

Zestawienie przykładów stanowisk

Przykład nr	Nazwa stanowiska	Źródło promieniowania
1	Kontrola penetracyjna (defektoskop)	wysokoprężna lampa Wooda
2	Inspektor kontroli jakości	blat podświetlany białymi LED
3	Spawacz – spawanie stali węglowej metodą TIG	łuk spawalniczy
4	Spawacz – spawanie aluminium metodą TIG	łuk spawalniczy
5	Spawacz – spawanie metodą MAG	łuk spawalniczy
6	Spawacz – spawanie łukowe ręczne MMA	łuk spawalniczy
7	Spawacz – spawanie gazowe 1	płomień spawalniczy
8	Spawacz – spawanie gazowe 2	płomień spawalniczy
9	Odlewnia – wytapiacz metalu przy piecu indukcyjnym tyglowym	roztopione żeliwo
10	Odlewnia – zalewacz kadzi	roztopione żeliwo
11	Odlewnia – zalewacz form	roztopione żeliwo
12	Odlewnia – kadziowy	roztopione żeliwo
13	Huta stali – operator wytapiania stali przy piecu łukowym (EAF)	roztopiona stal
14	Huta stali – operator wytapiania stali przy kadziach głównych	roztopiona stal
15	Huta stali – operator odlewania stali na linii ciągłego odlewania stali	roztopiona stal
16	Huta stali – laborant na linii ciągłego odlewania stali	gorące kęsy stali
17	Huta stali, walcownia – piecowy	gorący wsad stalowy
18	Huta stali, walcownia – walcownik	rozgrzane pręty stalowe
19	Huta szkła – hutnik bańkarz	rozgrzana masa szklana o temperaturze 1 250 °C
20	Huta szkła – hutnik dmuchacz	rozgrzana masa szklana o temperaturze 1 250 °C
21	Operator pieca tunelowego zamkniętego	wnętrze pieca o temperaturze 1 440 °C
22	Operator pieca tunelowego otwartego	wnętrze pieca o temperaturze 1 250 °C
23	Operator pieca hartowniczego – elektrycznego komorowego	wnętrze pieca o temperaturze 880 °C
24	Operator pieca hartowniczego – silitowego komorowego	wnętrze pieca o temperaturze 900 °C

Przykład 1. Kontrola penetracyjna (defektoskop)

Ocena zagrożenia fotochemicznego promieniowaniem UV

Stanowisko kontroli penetracyjnej (defektoskop), gdzie podstawowym wyposażeniem jest lampa typ UVA Hand lamp 250 W. Zainstalowane w oprawie źródło jest promiennikiem Wooda emitującym głównie promieniowanie UVA. Pracujący na tym stanowisku kontroler dokonuje obserwacji wzrokowej elementów konstrukcyjnych w celu wykrycia wad materiału, np. w postaci mikropęknięć. Obserwacja badanych elementów odbywa się z udziałem promieniowania nadfioletowego padającego na trzymany w rękach pracownika element, który musi znajdować się bezpośrednio pod źródłem UVA. Oszacowany czas całkowitej ekspozycji w ciągu zmiany roboczej wynosił 2 h (7 200 s). Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozowanych części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-1.

Tabela Z.2.b-1. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozowanych części ciała na stanowisku kontroli penetracyjnej (na podstawie [2, 5])

Kontrola penetracyjna (defektoskop)							
Ocena zagrożenia fotochemicznego	Odległość od źródła m	t_c s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji J/m^2	MDE J/m^2	k	t_{doz}
Rogówki i spojówki	0,38	7 200	$E_s = 1,5 \cdot 10^{-4}$	$H_s = 1,08$	30	0,036	> 8 h
Soczewki			$E_{UVA} = 0,819$	$H_{UVA} = 5 897$	10 000	0,59	3 h 23 min
Skóry twarzy	0,38		$E_s = 1,5 \cdot 10^{-4}$	$H_s = 1,08$	30	0,036	> 8 h
Skóry rąk	0,32		$E_s = 9,5 \cdot 10^{-3}$	$H_s = 68,4$		2,28	52 min

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne skóry rąk.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- ograniczyć czas ekspozycji poniżej 52 min w ciągu zmiany roboczej,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia (co najmniej 2,5-krotnie).

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

- zalecić pracownikowi stosowanie rękawic ochronnych,

- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,
- powiadomić pracownika, że w przypadku wydłużenia czasu narażenia z 2 h do 3 h i 23 min występuje duże ryzyko zawodowe związane z zagrożeniem soczewki oczu,
- w celach profilaktycznych wyposażyć pracownika w okulary ochronne przed promieniowaniem UVA,
- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne. Jeśli zajdzie taka okoliczność, pracownik powinien pracować z nałożonymi środkami ochrony indywidualnej, a czas ekspozycji w ciągu dnia powinien być skrócony.

Przykład 2. Inspektor kontroli jakości

Ocena zagrożenia fotochemicznego promieniowaniem UV i światłem niebieskim

Stanowisko inspektora kontroli jakości, na którym pracownik jest ekspozowany na promieniowanie widzialne i nadfioletowe podczas czynności naprawiania elementów przezroczystych na podświetlanym diodami białymi LED blacie o wymiarach 41,5 cm x 72 cm. Oszacowany czas całkowitej ekspozycji w ciągu zmiany roboczej wyniósł 7 h (25 200 s). Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozowanych części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-2.

Tabela Z.2.b-2. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego ekspozowanych części ciała na stanowisku kontroli jakości (na podstawie [2, 5])

Inspektor kontroli jakości								
Ocena zagrożenia fotochemicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	t_c s	Poziom promieniowania	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz}
Siatkówki oka	0,34	1 669	25 200	$L_B = 4,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$	$L_B = 4,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr})$	100 $\text{W}/(\text{m}^2\text{sr})$	0,048	> 8 h
Rogówki i spojówki oka	0,34	–		$E_s = 0,00127 \text{ W}/\text{m}^2$	$H_s = 32,004 \text{ J}/\text{m}^2$	30 J/m^2	1,06	ok. 7 h
Skóry twarzy	0,30	–		$E_s = 0,00134 \text{ W}/\text{m}^2$	$H_s = 33,77 \text{ J}/\text{m}^2$		1,13	6 h 12 min
Skóry rąk	0,23	–		$E_s = 0,00167 \text{ W}/\text{m}^2$	$H_s = 41,36 \text{ J}/\text{m}^2$		1,37	ok. 5 h
Soczewki	0,34	–		$E_{UVA} = 0,00465 \text{ W}/\text{m}^2$	$H_{UVA} = 117,18 \text{ J}/\text{m}^2$	10 000 J/m^2	0,012	> 8 h

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne nadfioletem skóry rąk i twarzy oraz rogówki i spojówki oczu.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- ograniczyć czas ekspozycji poniżej 5 h w ciągu zmiany roboczej,
- wyposażyć pracownika w przyłbicę ochronną przed promieniowaniem UV o odpowiednim współczynniku tłumienia (co najmniej 1,5),
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia (co najmniej 1,5).

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

- zalecić pracownikowi stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,

- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne. Jeśli zajdzie taka okoliczność, pracownik powinien pracować z nałożonymi środkami ochrony indywidualnej, a czas ekspozycji w ciągu dnia powinien być skrócony.

Przykład 3. Spawacz – spawanie stali węglowej metodą TIG

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania łukowego metodą TIG w osłonie argonu podczas czynności spawania detalu wykonanego ze stali węglowej 30HGSA (śruba zamka), z użyciem elektrody wolframowej o średnicy 1,6 mm. Długość łuku wynosiła około 2 mm, a prąd spawania – 55 ÷ 60 A.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-3.

Tabela Z.2.b-3. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą TIG (na podstawie [2])

Spawacz – spawanie stali węglowej metodą TIG								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz} s
Fotochemicznego rogówki i spojówki	0,19	–	$t_c = 2\ 520$	$E_s = 2,47$	$H_s = 6\ 224\ J/m^2$	30 J/m^2	207	12
Fotochemicznego soczewki	0,19	–		$E_{UVA} = 3,08$	$H_{UVA} = 7\ 761\ J/m^2$	10 000 J/m^2	0,78	3 239
Fotochemicznego skóry twarzy	0,19	–		$E_s = 2,47$	$H_s = 6\ 224\ J/m^2$	30 J/m^2	207	12
Fotochemicznego skóry ręki lewej	0,14	–		$E_s = 2,6$	$H_s = 6\ 552\ J/m^2$		218	11
Fotochemicznego skóry ręki prawej	0,04	–		$E_s = 6,36$	$H_s = 16\ 027\ J/m^2$		534	5
Fotochemicznego siatkówki	0,19	10,5		$E_B = 4,13$	$E_B = 4,13\ W/m^2$	0,03 W/m^2	138	24
Termicznego siatkówki*	0,19	10,5	$t_i = 70$	$E_R = 42,15$	$L_R = 423\ 846\ W/(m^2sr)$	2 666 667 $W/(m^2sr)$	0,16	> 10
Termicznego rogówki i soczewki	0,19	–		$E_{IR} = 85,7$	$E_{IR} = 85,7\ W/m^2$	744 W/m^2	0,12	> 1 000

* Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne nadfioletem skóry rąk i twarzy oraz oczu, a także fotochemiczne i termiczne siatkówki oka.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobraną do parametrów spawania przyłbicę ochronną przed UV, światłem niebieskim i podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie przyłbicy ochronnej (w tym przypadku najlepiej wyposażyć pracownika w przyłbicę automatyczną, tak aby nie zaczynał spawania bez osłony oczu),
- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,
- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne. Jeśli zajdzie taka okoliczność, pracownik powinien pracować z nałożonymi środkami ochrony indywidualnej, a czas ekspozycji w ciągu dnia powinien być skrócony.

Przykład 4. Spawacz – spawanie aluminium metodą TIG

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania łukowego metodą TIG w osłonie argonu podczas czynności spawania detalu wykonanego z aluminium z użyciem pręta aluminiowego o średnicy 4 mm. Długość łuku wynosiła około 3 mm, a prąd spawania – 200 A.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-4.

Tabela Z.2.b-4. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą TIG (na podstawie [2])

Spawacz – spawanie aluminium metodą TIG								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz} s
Fotochemicznego rogówki i spojówki	0,34	–	$t_c = 18\ 000$	$E_s = 37,6$	$H_s = 676\ 800\ J/m^2$	30 J/m^2	22 560	0,8
Fotochemicznego soczewki	0,34	–		$E_{UVA} = 53,1$	$H_{UVA} = 955\ 800\ J/m^2$	10 000 J/m^2	95,6	188
Fotochemicznego skóry twarzy	0,34	–		$E_s = 37,6$	$H_s = 676\ 800\ J/m^2$	30 J/m^2	22 560	0,8
Fotochemicznego skóry ręki	0,10÷0,35	–		$E_s = 60,8$	$H_s = 1\ 094\ 400\ J/m^2$		36 480	0,5
Fotochemicznego siatkówki	0,34	10,3		$E_B = 67$	$E_B = 67\ W/m^2$	0,01 W/m^2	6 700	1,5
Termicznego siatkówki*	0,34	10,3	$t_i = 50$	$E_R = 823$	$L_R = 7\ 204\ 770\ W/(m^2sr)$	2 718 446 $W/(m^2sr)$	2,65	ok. 0,1
Termicznego rogówki i soczewki	0,34	–		$E_{IR} = 465,5$	$E_{IR} = 465,5\ W/m^2$	957 W/m^2	0,49	ok. 150

*Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne nadfioletem skóry rąk i twarzy oraz oczu, a także siatkówki oczu światłem niebieskim.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobraną do parametrów spawania przyłbicę ochronną przed UV i światłem niebieskim o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie przyłbicy ochronnej,
- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,
- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne.

Przykład 5. Spawacz – spawanie metodą MAG

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania łukowego metodą MAG podczas czynności spawania detalu wykonanego ze stali St3 (kątownik), z użyciem drutu o średnicy 1 mm. Długość łuku wynosiła około 5 mm, a prąd spawania – 115 A. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-5.

Tabela Z.2.b-5. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą MAG

Spawacz – spawanie metodą MAG								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz} s
Fotochemicznego rogówki i soczewki	0,46	–	$t_c = 3\ 600$	$E_s = 0,364$	$H_s = 1\ 310\ J/m^2$	30 J/m^2	44	82
Fotochemicznego soczewki	0,46	–		$E_{UVA} = 1,23$	$H_{UVA} = 4\ 428\ J/m^2$	10 000 J/m^2	0,44	8 130
Fotochemicznego skóry twarzy	0,46	–		$E_s = 0,364$	$H_s = 1\ 310\ J/m^2$	30 J/m^2	44	82
Fotochemicznego skóry ręki	0,15	–		$E_s = 0,91$	$H_s = 3\ 276\ J/m^2$		109	33
Fotochemicznego siatkówki	0,46	10,9		$E_B = 2,95$	$E_B = 2,95\ W/m^2$	0,028 W/m^2	105	34
Termicznego siatkówki*	0,46	10,9	$t_i = 8$	$E_R = 146$	$L_R = 780\ 679\ W/(m^2sr)$	4 457 298 $W/(m^2sr)$	0,18	> 10
Termicznego rogówki i soczewki	0,46	–		$E_{IR} = 38,8$	$E_{IR} = 38,8\ W/m^2$	3 784 W/m^2	0,01	> 1 000
Termicznego skóry twarzy	0,46	–		$E_{skóra} = 173$	$H_{skóra} = 1\ 384\ J/m^2$	33 636 J/m^2	0,04	> 10
Termicznego skóry rąk	0,15	–		$E_{skóra} = 422$	$H_{skóra} = 3\ 376\ J/m^2$	33 636 J/m^2	0,1	

*Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne nadfioletem skóry rąk i twarzy oraz oczu, a także siatkówki oczu światłem niebieskim.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobraną do parametrów spawania przyłbicę ochronną przed UV i światłem niebieskim o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie przyłbicy ochronnej,
- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,
- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne.

Przykład 6. Spawacz – spawanie łukowe ręczne MMA

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania łukowego ręcznego metodą MMA podczas czynności spawania detalu wykonanego ze stali St3 (kątownik), z użyciem elektrody zasadowej EB o średnicy 3,25 mm. Długość łuku wynosiła około 5 mm, a prąd spawania – 130 A.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-6.

Tabela Z.2.b-6. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania łukowego metodą MMA (na podstawie [2])

Spawacz – spawanie łukowe ręczne MMA								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz} s
Fotochemicznego rogówki i spojówki	0,5	–	$t_c = 450$	$E_s = 4,39$	$H_s = 1\,975\ J/m^2$	30 J/m^2	2 634	7
Fotochemicznego soczewki	0,5	–		$E_{UVA} = 11,3$	$H_{UVA} = 5\,085\ J/m^2$	10 000 J/m^2	0,51	885
Fotochemicznego skóry twarzy	0,5	–		$E_s = 4,39$	$H_s = 1\,975\ J/m^2$	30 J/m^2	66	7
Fotochemicznego skóry ręki	0,10÷0,45	–		$E_s = 6,18$	$H_s = 2\,781\ J/m^2$		92,7	5
Fotochemicznego siatkówki	0,5	8		$E_B = 9,6$	$E_B = 9,6\ W/m^2$	0,022 W/m^2	436	10
Termicznego siatkówki*	0,5	8	$t_i = 45$	$E_R = 154,5$	$L_R = 2\,576\,804\ W/(m^2sr)$	2 802 803 $W/(m^2sr)$	0,92	> 10
Termicznego rogówki i soczewki	0,5	–		$E_{IR} = 526$	$E_{IR} = 526\ W/m^2$	1 036 W/m^2	0,51	< 100

*Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\,000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne nadfioletem skóry rąk i twarzy oraz oczu, a także siatkówki oczu światłem niebieskim.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobraną do parametrów spawania przyłbicę ochronną przed UV i światłem niebieskim o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie przyłbicy ochronnej,
- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem,
- poinformować pracownika, że w przypadku przyjmowania przez niego leków fotouczulających mogą wystąpić reakcje fotoalergiczne.

Przykład 7. Spawacz – spawanie gazowe 1

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania gazowego podczas czynności spawania stali ST3 z wykorzystaniem mieszanki acetyleny i tlenu w stosunku 4:1; spoiwo: drut stalowy o średnicy 2 mm.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycyjnych części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-7.

Tabela Z.2.b-7. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycyjnych części ciała na stanowisku spawania gazowego (na podstawie [2])

Spawacz – spawanie gazowe 1								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz}
Fotochemicznego rogówki i spojówki	0,35	–	$t_c = 1\ 200$	$E_s = 0,00097$ W/m ²	$H_s = 1,16$ J/m ²	30 J/m ²	0,04	> 8 h
Fotochemicznego soczewki	0,35	–		$E_{UVA} = 0,0032$ W/m ²	$H_{UVA} = 3,84$ J/m ²	10 000 J/m ²	0,0004	> 8 h
Fotochemicznego skóry twarzy	0,35	–		$E_s = 0,00097$ W/m ²	$H_s = 1,16$ W/m ²	30 J/m ²	0,04	> 8 h
Fotochemicznego skóry ręki prawej	0,31	–		$E_s = 0,0027$ W/m ²	$H_s = 3,24$ J/m ²		0,11	11 111 s
Fotochemicznego siatkówki	0,35	8,5		$E_B = 0,015$ W/m ²	$E_B = 0,015$ W/m ²	0,083 W/m ²	0,18	7 142 s
Termicznego siatkówki*	0,35	8,5	$t_i = 80$	$L_R = 179\ 921$ W/(m ² sr)	$L_R = 179\ 921$ W/(m ² sr)	545 454 W/(m ² sr)	0,33	> 10 s
Termicznego rogówki i soczewki	0,35	–		$E_{IR} = 163$ W/m ²	$E_{IR} = 163$ W/m ²	673 W/m ²	0,24	ok. 600 s

*Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000$ cd/m², czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie promieniowaniem optycznym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak iskry i odpryski występujące podczas spawania, należy zalecić pracownikowi:

- stosowanie okularów ochronnych,
- stosowanie rękawic ochronnych,
- przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem.

Ze względu na możliwość zwiększenia czasu ekspozycji w ciągu zmiany roboczej należy pamiętać, że po przekroczeniu czasu ekspozycji wynoszącego ok. 2 h pojawia się zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka, a po przekroczeniu 3 h – zagrożenie fotochemiczne skóry rąk. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik stosował okulary ochronne tłumiące światło niebieskie oraz rękawice ochronne i ubranie robocze z długim rękawem.

Przykład 8. Spawacz – spawanie gazowe 2

Ocena zagrożenia fotochemicznego i termicznego promieniowaniem optycznym

Stanowisko spawania gazowego podczas czynności spawania stali ST3 z wykorzystaniem mieszanki acetyleny i tlenu w stosunku 4:1, spoiwo: drut stalowy miedziowany o średnicy 3,25 mm. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała przedstawiono w tabeli Z.2.b-8.

Tabela Z.2.b-8. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia fotochemicznego i termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku spawania gazowego (na podstawie [2])

Spawacz – spawanie gazowe 2								
Ocena zagrożenia	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji s	Poziom promieniowania	Poziom ekspozycji	MDE	k	t_{doz}
Fotochemicznego rogówki i spojówki	0,62	–	$t_c = 1800$	$E_s = 0,00019$ W/m ²	$H_s = 0,342$ J/m ²	30 J/m ²	0,01	> 8 h
Fotochemicznego soczewki	0,62	–		$E_{UVA} = 0,0045$ W/m ²	$H_{UVA} = 8,1$ J/m ²	10 000 J/m ²	0,0008	> 8 h
Fotochemicznego skóry twarzy	0,62	–		$E_s = 0,00019$ W/m ²	$H_s = 0,342$ W/m ²	30 J/m ²	0,01	> 8 h
Fotochemicznego skóry ręki prawej	0,12	–		$E_s = 0,0205$ W/m ²	$H_s = 36,9$ J/m ²		1,23	1 440 s
Fotochemicznego siatkówki	0,62	6,4		$E_B = 0,196$ W/m ²	$E_B = 0,196$ W/m ²	0,056 W/m ²	3,5	510 s
Termicznego siatkówki*	0,62	6,4	$t_i = 200$	$L_R = 272\,550$ W/(m ² sr)	$L_R = 272\,550$ W/(m ² sr)	4 375 000 W/(m ² sr)	0,06	> 10 s
Termicznego rogówki i soczewki	0,62	–		$E_{IR} = 153$ W/m ²	$E_{IR} = 153$ W/m ²	338 W/m ²	0,45	ok. 600 s

*Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\,000$ cd/m², czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie fotochemiczne skóry rąk promieniowaniem UV i fotochemiczne siatkówki oka światłem niebieskim.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobrane do parametrów spawania okulary ochronne przed światłem niebieskim o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Z uwagi na stwierdzone zagrożenia oraz zagrożenie innymi czynnikami, jak iskry i odpryski występujące podczas spawania, należy:

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie okularów ochronnych,
- zalecić pracownikowi stosowanie rękawic ochronnych,
- zalecić pracownikowi przestrzeganie noszenia ubrania roboczego z długim rękawem.

Przykład 9. Wytapiacz metalu przy piecu indukcyjnym tyglowym

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

Odlewnia żeliwa. Stanowisko wytapiacza metalu przy piecu indukcyjnym tyglowym. Źródłem promieniowania optycznego jest żeliwo o temperaturze ok. 1 580 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności:

- załadunku pieca,
- ściągania żużła,
- pomiaru temperatury żeliwa w piecu.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w odniesieniu do poszczególnych czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-9.

Tabela Z.2.b-9. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku wytapiacza przy piecu tyglowym

Odlewnia żeliwa – wytapiacz metalu przy piecu indukcyjnym tyglowym							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – załadunek pieca							
Siatkówki*	1,8	459	300	$E_R = 72$	$L_R = 391$ W/(m ² sr)	280 000 W/(m ² sr)	0,003
Rogówki i soczewki	1,8	–	300	$E_{IR} = 264$	$E_{IR} = 264$ W/m ²	250 W/m ²	1,06
Czynność 2. – ściąganie żużła							
Siatkówki*	1,5	459	76	$E_R = 82$	$L_R = 445$ W/(m ² sr)	280 000 W/(m ² sr)	0,002
Rogówki i soczewki	1,5	–	76	$E_{IR} = 3\,780$	$E_{IR} = 3\,780$ W/m ²	699 W/m ²	5,4
Czynność 3. – pomiar temperatury żeliwa w piecu							
Siatkówki*	1,5	550	5	$E_R = 88$	$L_R = 332$ W/(m ² sr)	334 370 W/(m ² sr)	0,003
Rogówki i soczewki	1,5	–	5	$E_{IR} = 654$	$E_{IR} = 654$ W/m ²	5 383 W/m ²	0,12
Skóry twarzy	1,45	–	5	$E_{skóra} = 2\,500$	$H_{skóra} = 12\,500$ J/m ²	29 907 J/m ²	0,42
Skóry rąk	0,5	–	5	$E_{skóra} = 14\,150$	$H_{skóra} = 70\,750$ J/m ²	29 907 m ²	2,36
*Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\,000$ cd/m ² , czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.							

➔ **Wniosek:**

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oczu promieniowaniem podczerwonym przy czynności 1. i 2. (załadunek pieca i ściąganie żuźla) oraz zagrożenie termiczne skóry rąk przy czynności 3. (pomiar temperatury).

➔ **Jak ograniczyć ryzyko?**

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobrane okulary ochronne przed podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne metalizowane o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak odpryski występujące podczas czynności pracy, należy nakazać pracownikowi:

- bezwzględne stosowanie okularów ochronnych / przyłbicy ochronnej,
- bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych.

Przykład 10. Zalewacz kadzi

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

Odlewnia żeliwa. Stanowisko zalewacza kadzi przy piecu indukcyjnym. Źródłem promieniowania optycznego jest żeliwo o temperaturze ok. 1 580 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności:

- napełniania kadzi zalewowej i modyfikacji metalu,
- ściągania żużla z powierzchni metalu w kadzi,
- pomiaru temperatury żeliwa w kadzi.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w odniesieniu do poszczególnych czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-10.

Tabela Z.2.b-10. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku zalewacza kadzi

Odlewnia żeliwa – zalewacz kadzi							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – napełnianie kadzi zalewowej i modyfikacja metalu							
Siatkówki*	2,5	250	25	$E_R = 75,9$	$L_R = 1\,898$ $W/(m^2sr)$	280 000 $W/(m^2sr)$	0,007
Rogówki i soczewki	2,5	–	25	$E_{IR} = 213$	$E_{IR} = 213$ W/m^2	1 610 W/m^2	0,13
Czynność 2. – ściąganie żużla z powierzchni metalu w kadzi							
Siatkówki*	0,9	443	95	$E_R = 81$	$L_R = 361$ $W/(m^2sr)$	280 000 $W/(m^2sr)$	0,001
Rogówki i soczewki	0,9	–	95	$E_{IR} = 565$	$E_{IR} = 565$ W/m^2	591 W/m^2	0,96
Czynność 3. – pomiar temperatury w kadzi							
Siatkówki*	1,1	527	7	$E_R = 81$	$L_R = 543$ $W/(m^2sr)$	307 339 $W/(m^2sr)$	0,0018
Rogówki i soczewki	1,1	–	7	$E_{IR} = 1\,440$	$E_{IR} = 1\,440$ W/m^2	4 183 W/m^2	0,34
Skóry twarzy	1,05	–	7	$E_{skóra} = 1\,352$	$H_{skóra} = 9\,464$ J/m^2	32 531 J/m^2	0,29
Skóry rąk	0,55	–	7	$E_{skóra} = 4\,920$	$H_{skóra} = 34\,440$ W/m^2	32 531 J/m^2	1,06
* Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\,000$ cd/m^2 , czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny							

➔ **Wniosek:**

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie termiczne skóry rąk przy czynności 3. (pomiar temperatury w kadzi). Ponadto stwierdzono występowanie **ryzyka średniego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oczu przy czynności 2. (ściągnięcie żużla z powierzchni metalu w kadzi).

➔ **Jak ograniczyć ryzyko?**

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobrane okulary ochronne przed podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne metalizowane o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak odpryski występujące podczas czynności pracy, należy nakazać pracownikowi:

- bezwzględne stosowanie okularów ochronnych / przyłbicy ochronnej,
- bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych.

Ze względu na możliwość zwiększenia lub skrócenia jednorazowego czasu ekspozycji należy pamiętać, że przy wydłużaniu czasu ekspozycji dopuszczalne wartości natężenia napromienienia oczu i skóry maleją. Może się zdarzyć, że w wyniku wydłużenia czasu ekspozycji wartość MDE zostanie przekroczona, a tym samym wystąpi **ryzyko duże**. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik stosował okulary ochronne tłumiące promieniowanie podczerwone oraz rękawice.

Przykład 11. Zalewacz form

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

Odlewnia żeliwa. Stanowisko zalewacza form. Źródłem promieniowania optycznego jest żeliwo o temperaturze ok. 1 580 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności pobierania prób.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała i w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-11.

Tabela Z.2.b-11. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku zalewacza form (na podstawie [5])

Odlewnia żeliwa – zalewacz form							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość kąta źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – pobieranie próbek							
Siatkówki*	2	371	6	$E_R = 76$	$L_R = 496 W/(m^2sr)$	319 471 $W/(m^2sr)$	0,002
Rogówki i soczewki	2	–	6	$E_{IR} = 579$	$E_{IR} = 579 W/m^2$	4 695 W/m^2	0,12
Skóry twarzy	1,96	–	6	$E_{skóra} = 2 142$	$H_{skóra} = 12 852$ J/m^2	31 302 J/m^2	0,41
Skóry rąk	0,6	–	6	$E_{skóra} = 4 920$	$H_{skóra} = 29 520$ J/m^2	31 302 J/m^2	0,94
Czynność 2. – zalewanie formy małej							
Siatkówki*	1,5	20	19	$E_R = 67$	$L_R = 167 750$ $W/(m^2sr)$	1 400 000 $W/(m^2sr)$	0,12
Rogówki i soczewki	1,5	–	19	$E_{IR} = 1 150$	$E_{IR} = 1 350 W/m^2$	1 978 W/m^2	0,58
Czynność 3. – zalewanie formy dużej							
Siatkówki*	1,45	50	48	$E_R = 55,7$	$L_R = 9 772$ $W/(m^2sr)$	560 000 $W/(m^2sr)$	0,02
Rogówki i soczewki	1,45	–	48	$E_{IR} = 998$	$E_{IR} = 998 W/m^2$	987 m²	1,01

* Zmierzona luminancja świetlna $L > 10 000 cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki przy czynności 3. (zalewanie formy dużej). Ponadto stwier-

dzono występowanie ryzyka średniego ze względu na zagrożenie skóry rąk przy czynności 1. (pobieranie próbek).

➔ **Jak ograniczyć ryzyko?**

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednie okulary ochronne,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne metalizowane o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak odpryski występujące podczas czynności pracy, należy nakazać pracownikowi:

- bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych,
- bezwzględne stosowanie okularów ochronnych.

Przykład 12. Kadziowy

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

Odlewnia żeliwa. Stanowisko kadziowego. Źródłem promieniowania optycznego jest żeliwo o temperaturze ok. 1 580 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności:

- nalewania metalu z pieca do kadzi,
- ściągania żużla z powierzchni metalu w kadzi,
- wlewania metalu do pieca zalewowego.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w odniesieniu do poszczególnych czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-12.

Tabela Z.2.b-12. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku kadziowego (na podstawie [5])

Odlewnia żeliwa – kadziowy							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – nalewanie metalu z pieca do kadzi							
Siatkówki*	1,1	338	103	$E_R = 11,3$	$L_R = 80,7$ $W/(m^2sr)$	280 000 $W/(m^2sr)$	0,0003
Rogówki i soczewki	1,1	–	103	$E_{IR} = 55$	$E_{IR} = 55$ W/m^2	545 W/m^2	0,1
Czynność 2. – ściąganie żużla z powierzchni metalu w kadzi							
Siatkówki*	1,8	56	28	$E_R = 81$	$L_R = 3\ 240$ $W/(m^2sr)$	500 000 $W/(m^2sr)$	0,006
Rogówki i soczewki	1,8	–	28	$E_{IR} = 1\ 118$	$E_{IR} = 1\ 118$ W/m^2	1 478 W/m^2	0,76
Czynność 3. – wlewanie metalu do pieca zalewowego							
Siatkówki*	1,5	107	123	$E_R = 69,3$	$L_R = 4\ 950$ $W/(m^2sr)$	280 000 $W/(m^2sr)$	0,002
Rogówki i soczewki	1,5	–	123	$E_{IR} = 352$	$E_{IR} = 352$ W/m^2	487 W/m^2	0,72

* Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\ 000$ cd/m^2 , czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka średniego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka przy czynności 2. (ściąganie żużla z powierzchni metalu w kadzi) i czynności 3. (wlewanie metalu do pieca zalewowego).

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można zastosować następujący środek ograniczający ryzyko:

- wyposażać pracownika w odpowiednio dobrane okulary ochronne przed podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak odpryski występujące podczas czynności pracy, należy zalecić pracownikowi:

- stosowanie okularów ochronnych,
- stosowanie rękawic ochronnych.

Ze względu na możliwość zwiększenia lub skrócenia jednorazowego czasu ekspozycji należy pamiętać, że przy wydłużaniu czasu ekspozycji dopuszczalne wartości natężenia napromienienia oczu maleją. Może się zdarzyć, że w wyniku wydłużenia czasu ekspozycji wartość MDE zostanie przekroczona, a tym samym wystąpi **ryzyko duże**. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik stosował okulary ochronne tłumiące promieniowanie podczerwone.

Przykład 13. Operator wytapiania stali przy piecu łukowym

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym i podczerwonym

Huta stali. Oddział wytapiania stali. Stanowisko operatora wytapiania stali przy piecu łukowym. Źródłem promieniowania optycznego jest stal o temperaturze ok. 1 650 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności:

- obsługi otworu pieca,
- czyszczenia korony pieca,
- skręcania elektrod,
- oceny pieca po spuście.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w odniesieniu do poszczególnych czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-13.

Tabela Z.2.b-13. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora wytapiania stali przy piecu łukowym (na podstawie [2, 5])

Operator wytapiania stali przy piecu łukowym							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – obsługa otworu pieca							
Siatkówki*	1,5	486	45	$E_R = 87$	$L_R = 1\,416$ $W/(m^2 \cdot sr)$	280 000 $W/(m^2 \cdot sr)$	0,005
Rogówki i soczewki	1,5	–	45	$E_{IR} = 1\,610$	$E_{IR} = 1\,610$ W/m^2	1 036 W/m^2	1,55
Czynność 2. – czyszczenie korony pieca							
Siatkówki**	0,5	1 373	240	$E_R = 89$	$L_R = 211$ $W/(m^2 \cdot sr)$	60 000 $W/(m^2 \cdot sr)$	0,0035
Rogówki i soczewki	0,5	–	240	$E_{IR} = 3\,780$	$E_{IR} = 3\,780$ W/m^2	295 W/m^2	12,8
Czynność 3. – skręcanie elektrody							
Siatkówki**	0,8	661	5	$E_R = 0,2$	$L_R = 0,116$ $W/(m^2 \cdot sr)$	334 370 $W/(m^2 \cdot sr)$	0,0000003
Rogówki i soczewki	0,8	–	5	$E_{IR} = 1\,543$	$E_{IR} = 1\,543$ W/m^2	5 383 W/m^2	0,29
Skóry twarzy	1	–	5	$E_{skóra} = 8\,550$	$H_{skóra} = 42\,750$ J/m^2	29 907 J/m^2	1,42
Czynność 4. – ocena pieca po spuście							
Siatkówki*	1 ÷ 6,6	558	10 ÷ 35	$E_R = 72$	$L_R = 123$ $W/(m^2 \cdot sr)$	280 000 $W/(m^2 \cdot sr)$	0,00044

Tabela Z.2.b-13., cd.

Operator wytapiania stali przy piecu łukowym							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Rogówki i soczewki	1 ÷ 6,6	–	10	$E_{IR} = 690$	$E_{IR} = 690$ W/m^2	3 200 W/m^2	0,22
			35	$E_{IR} = 690$	$E_{IR} = 690$ W/m^2	1 250 W/m^2	0,55
* Zmierzona luminancja świetlna $L > 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za silny bodziec świetlny. ** Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.							

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka przy czynnościach 1. i 2. (obsługa otworu EBT, czyszczenie korony pieca) oraz ze względu na zagrożenie termiczne skóry – podczas czynności 3. (skręcania elektrod).

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Można wybrać następujące środki ograniczające ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobrane okulary ochronne przed podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia,
- wyposażyć pracownika w rękawice ochronne metalizowane o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Z uwagi na zagrożenie innymi czynnikami, jak odpryski występujące podczas czynności pracy, należy nakazać pracownikowi:

- bezwzględne stosowanie okularów ochronnych / przyłbicy ochronnej,
- bezwzględne stosowanie rękawic ochronnych.

Przykład 14. Operator wytapiania stali przy kadziach głównych

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta stali. Oddział wytapiania stali. Stanowisko operatora wytapiania stali przy kadziach głównych. Źródłem promieniowania optycznego jest stal o temperaturze ok. 1 650 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie widzialne i podczerwone podczas czynności:

- wypalania wylewów i korków od strony gorącej,
- oceny kadzi gorącej po odlewaniu (przy różnych temperaturach kadzi i przy obserwacji zza ekranu i bez ekranu ochronnego).

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała w odniesieniu do poszczególnych czynności w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-14.

Tabela Z.2.b-14. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała na stanowisku operatora wytapiania stali przy kadziach głównych (na podstawie [2, 5])

Operator wytapiania stali przy kadziach głównych							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – wypalanie wylewów i korków od strony gorącej							
Siatkówki*	1,7	95	50 ÷ 100	$E_R = 67,3$	$L_R = 2\ 588$ $W/(m^2sr)$	63 158 $W/(m^2sr)$	0,04
Rogówki i soczewki	1,7	–	50	$E_{IR} = 740$	$E_{IR} = 740$ W/m^2	957 W/m^2	0,77
			100			569 W/m^2	1,3
Czynność 2a – ocena kadzi gorącej po odlewaniu (temp. 700 °C) – obserwacja bez stosowania ekranu ochronnego							
Siatkówki*	2	1 221	40	$E_R = 82,4$	$L_R = 54$ $W/(m^2sr)$	60 000 $W/(m^2sr)$	0,0009
Rogówki i soczewki	2	–	40	$E_{IR} = 2\ 060$	$E_{IR} = 2\ 060$ W/m^2	1 132 W/m^2	1,82
Czynność 2b – ocena kadzi gorącej po odlewaniu (temp. 1 000 °C) – obserwacja bez stosowania ekranu ochronnego							
Siatkówki*	3	874	40	$E_R = 90$	$L_R = 132$ $W/(m^2sr)$	60 000 $W/(m^2sr)$	0,0022
Rogówki i soczewki	3	–	40	$E_{IR} = 3\ 613$	$E_{IR} = 3\ 613$ W/m^2	1 132 W/m^2	3,19
Czynność 2c – ocena kadzi gorącej po odlewaniu (temp. 1 000 °C) – obserwacja przez otwór w ekranie ochronnym							
Siatkówki*	1	248	40	$E_R = 90$	$L_R = 2\ 903$ $W/(m^2sr)$	60 000 $W/(m^2sr)$	0,00044
Rogówki i soczewki	1	–	40	$E_{IR} = 1\ 098$	$E_{IR} = 1\ 098$ W/m^2	1 132 W/m^2	0,96
* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000$ cd/m^2 , czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.							

➔ **Wniosek:**

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka dużego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oka przy czynności 1. (wypalania wylewów i korków od strony gorącej) oraz czynnościach 2a i 2b (oceny kadzi gorącej po odlewaniu przy temperaturze 700 °C i 1 000 °C, bez stosowania ekranu ochronnego). Ponadto stwierdzono występowanie **ryzyka średniego** ze względu na zagrożenie termiczne rogówki i soczewki oczu przy czynności 2c (oceny kadzi gorącej po odlewaniu przy temperaturze 1 000 °C – obserwacja przez otwór w ekranie ochronnym).

➔ **Jak ograniczyć ryzyko?**

Można zastosować następujący środek ograniczający ryzyko:

- wyposażyć pracownika w odpowiednio dobrane okulary ochronne przed podczerwienią o odpowiednim współczynniku tłumienia.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

- nakazać pracownikowi bezwzględne stosowanie okularów ochronnych,
- zalecić pracownikowi, żeby wykonywał obserwację kadzi stając za ekranem ochronnym.

Z uwagi na możliwość zwiększenia lub skrócenia jednorazowego czasu ekspozycji należy pamiętać, że przy wydłużaniu czasu ekspozycji dopuszczalne wartości natężenia napromienienia oczu maleją. Może się zdarzyć, że w wyniku wydłużenia czasu ekspozycji wartość MDE zostanie przekroczona, nawet przy stosowaniu ekranu ochronnego, a tym samym wystąpi **ryzyko duże**.

Przykład 15. Operator odlewania stali na linii ciągłego odlewania stali

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta stali. Oddział odlewania stali. Stanowisko operatora odlewania stali na linii ciągłego odlewania stali. Źródłem promieniowania optycznego jest stal o temperaturze ok. 1 650 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności obserwacji odlewania otwartym strumieniem.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-15.

Tabela Z.2.b-15. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora odlewania stali na linii ciągłego odlewania

Operator odlewania stali na linii ciągłego odlewania stali							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość kątowa źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – obserwacja odlewania otwartym strumieniem							
Siatkówki*	6,3	25	21 600	$E_R = 1,12$	$L_R = 8\ 238$ $W/(m^2 sr)$	240 000 $W/(m^2 sr)$	0,034
Rogówki i soczewki	6,3	–	21 600	$E_{IR} = 12,3$	$E_{IR} = 12,3$ W/m^2	100 W/m^2	0,123

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony. Zwiększenie czy skrócenie czasu ekspozycji nie wpłynie na możliwość przekroczenia wartości MDE, gdyż poziomy ekspozycji są dużo niższe od minimalnych wartości MDE dla zagrożenia podczerwienią.

Przykład 16. Laborant na linii ciągłego odlewania stali

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta stali. Oddział odlewania stali. Stanowisko laboranta na linii ciągłego odlewania stali. Źródłem promieniowania optycznego są gorące kęsy stali usytuowane w chłodni. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności opisywania kęsów na gorąco. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-16.

Tabela Z.2.b-16. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku laboranta na linii ciągłego odlewania stali (na podstawie [5])

Laborant na linii ciągłego odlewania stali							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1a – opisywanie kęsów na gorąco (przy kęsach jeszcze nieschłodzonych w chłodni)							
Siatkówki*	1	200	2	$E_R = 17,5$	$L_R = 439$ $W/(m^2sr)$	420 448 $W/(m^2sr)$	0,001
Rogówki i soczewki	1	–	2	$E_{IR} = 483$	$E_{IR} = 483$ W/m^2	10 702 W/m^2	0,045
Skóry twarzy	1	–	2	$E_{skóra} = 1 410$	$H_{skóra} = 2 820$ J/m^2	23 784 J/m^2	0,118
Skóry rąk	0,3	–	2	$E_{skóra} = 3 510$	$H_{skóra} = 7 020$ J/m^2	23 784 J/m^2	0,29
Czynność 1b – opisywanie kęsów na gorąco (przy kęsach częściowo schłodzonych w chłodni)							
Siatkówki*	1	200	2	$E_R = 3,46$	$L_R = 87$ $W/(m^2sr)$	420 448 $W/(m^2sr)$	0,0002
Rogówki i soczewki	1	–	2	$E_{IR} = 85$	$E_{IR} = 85$ W/m^2	10 702 W/m^2	0,0079
Skóry twarzy	1	–	2	$E_{skóra} = 1 193$	$H_{skóra} = 2 386$ J/m^2	23 784 J/m^2	0,1
Skóry rąk	0,3	–	2	$E_{skóra} = 2 970$	$H_{skóra} = 5 940$ J/m^2	23 784 J/m^2	0,249

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000$ cd/m^2 , czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne promieniowaniem podczerwonym.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Pomimo że stwierdzono ryzyko małe przy wykonywaniu czynności opisywania pojedynczego kęsa, to należy uwzględnić fakt, że pracownik opisuje kolejno wiele kęsów, a w tzw. chłodni występuje mikroklimat gorący. Zakładając, że pracownik przenosi wzrok z jednego kęsa na drugi w krótkim odstępie czasu, można przyjąć, że jednorazowy czas ekspozycji będzie o wiele dłuższy i wówczas przy istniejącym poziomie ekspozycji może wystąpić **przekroczenie MDE i ryzyko duże**. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik stosował okulary ochronne tłumiące promieniowanie podczerwone.

Przykład 17. Walcownia. Piecowy

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta stali. Oddział walcowni drobnej. Stanowisko piecowego. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzany wsad stalowy podlegający wygrzewaniu. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności kontroli wizualnej nagrzewania wsadu przez drzwiczki (strefa wyrównawcza i strefa grzewcza).

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-17.

Tabela Z.2.b-17. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała na stanowisku piecowego (na podstawie [2])

Piecowy (w walcowni)							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość kątowa źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1a – kontrola wizualna nagrzewania wsadu przez drzwiczki – strefa wyrównawcza							
Siatkówki*	1,8	248	10	$E_R = 35,3$	$L_R = 565$ $W/(m^2sr)$	60 000 $W/(m^2sr)$	0,009
Rogówki i soczewki	1,8	–	10	$E_{IR} = 782$	$E_{IR} = 782$ W/m^2	3 200 W/m^2	0,24
Czynność 1b – kontrola wizualna nagrzewania wsadu przez drzwiczki – strefa grzewcza							
Siatkówki*	1,8	248	10	$E_R = 21,6$	$L_R = 349$ $W/(m^2sr)$	60 000 $W/(m^2sr)$	0,006
Rogówki i soczewki	1,8	–	10	$E_{IR} = 1 164$	$E_{IR} = 1 164$ W/m^2	3 200 W/m^2	0,36

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000$ cd/m^2 , czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć ?

Przy wyznaczonym z pomiarów jednorazowym czasie ekspozycji wynoszącym 15 s nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony. Należy jednak zauważyć, że zwiększenie czasu ekspozycji powyżej 45 s spowoduje przekroczenie wartości MDE przy czynności 1b, a powyżej 70 s – przy czynności 1a. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik stosował okulary ochronne tłumiące promieniowanie podczerwone, zwłaszcza w sytuacjach, gdy kontrola wizualna odbywa się dłużej niż opisano powyżej.

Przykład 18. Walcownia. Walcownik

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta stali. Oddział walcowni drobnej. Stanowisko walcownika. Źródłem promieniowania optycznego są rozgrzane pręty stalowe. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności:

- kontroli procesu walcowania,
- pobierania prób.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-18.

Tabela Z.2.b-18. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku walcownika (na podstawie [2])

Walcownik							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość kąta źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność 1. – kontrola procesu walcowania							
Siatkówki*	1	415	100	$E_R = 17,58$	$L_R = 512$ $W/(m^2 sr)$	60 000 $W/(m^2 sr)$	0,008
Rogówki i soczewki	1	–	100	$E_{IR} = 396$	$E_{IR} = 396$ W/m^2	569 W/m^2	0,696
Czynność 2. – pobieranie prób							
Siatkówki*	1,9	1 487	200	$E_R = 0,214$	$L_R = 0,48$ $W/(m^2 sr)$	60 000 $W/(m^2 sr)$	$8 \cdot 10^{-6}$
Rogówki i soczewki	1,9	–	200	$E_{IR} = 13$	$E_{IR} = 13$ W/m^2	338 W/m^2	0,038

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Przy wyznaczonym z pomiarów jednorazowym czasie ekspozycji wynoszącym 80 s nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony.

Należy jednak zauważyć, że zwiększenie czasu ekspozycji przy czynności 1. (kontrola procesu walcowania) powyżej 170 s spowoduje przekroczenie wartości MDE. Przy czynności 2. (pobiera-

nie prób) zwiększenie czasu ekspozycji nie spowoduje przekroczenia wartości MDE. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik podczas czynności 1. stosował okulary ochronne tłumiące promieniowanie podczerwone, zwłaszcza w sytuacjach, gdy kontrola wizualna trwa dłużej niż **170 s**.

Przykład 19. Hutnik bańkarz

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta szkła. Stanowisko hutnika bańkarza na pomoście wanny gazowej. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzana masa szklana o temperaturze 1 250 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności nabierania pierwszej warstwy szkła przezroczystego.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-19.

Tabela Z.2.b-19. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycyjnych części ciała na stanowisku hutnika bańkarza (na podstawie [2])

Hutnik bańkarz							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – nabieranie pierwszej warstwy szkła przezroczystego							
Siatkówki*	1	420	6	$E_R = 68$	$L_R = 771$ $W/(m^2 sr)$	319 471 $W/(m^2 sr)$	0,002
Rogówki i soczewki	1	–	6	$E_{IR} = 898$	$E_{IR} = 898$ W/m^2	4 695 W/m^2	0,19
Skóry twarzy	1	–	6	$E_{skóra} = 1 069$	$H_{skóra} = 6 414$ J/m^2	31 302 J/m^2	0,21
Skóry rąk	0,55	–	6	$E_{skóra} = 3 648$	$H_{skóra} = 21 888$ J/m^2	31 302 J/m^2	0,69

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Przy wyznaczonym z pomiarów jednorazowym czasie ekspozycji wynoszącym 5 s nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony oczu i skóry.

Należy zauważyć, że dopiero zwiększenie czasu jednorazowej ekspozycji powyżej 50 s spowoduje przekroczenie wartości MDE dla zagrożenia rogówki i soczewki. Natomiast wartości poziomu

promieniowania podczerwonego wyznaczonego dla skóry rąk przekraczają $3\ 557\ \text{W/m}^2$, wobec tego przy wydłużeniu czasu ekspozycji do ok. 10 s może nastąpić przekroczenie MDE dla skóry. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby podczas czynności nabierania masy szklanej dłoń pracownika znajdowała się dalej od źródła lub aby pracownik nakładał specjalne ochroniacze grzbietu dłoni odbijające promieniowanie podczerwone.

Przykład 20. Hutnik dmuchacz

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Huta szkła. Stanowisko hutnika dmuchacza na pomoście wanny gazowej. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzana masa szklana o temperaturze 1 250 °C. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności ręcznego formowania szkła. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-20.

Tabela Z.2.b-20. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku hutnika dmuchacza

Hutnik dmuchacz							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – ręczne formowanie szkła							
Siatkówki*	1,1	298	7	$E_R = 36$	$L_R = 1\,440$ $W/(m^2sr)$	307 390 $W/(m^2sr)$	0,0046
Rogówki i soczewki	1,1	–	7	$E_{IR} = 1\,024$	$E_{IR} = 1\,024$ W/m^2	4 183 W/m^2	0,234
Skóry twarzy	1,1	–	7	$E_{skóra} = 1\,102$	$H_{skóra} = 7\,714$ J/m^2	32 532 J/m^2	0,24
Skóry rąk	0,75	–	7	$E_{skóra} = 3\,321$	$H_{skóra} =$ 23 247 J/m^2	32 532 J/m^2	0,71

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\,000\,cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka średniego** ze względu na zagrożenie termiczne skóry promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Zaleca się wyposażenie pracownika w odpowiednio skonstruowane ochraniacze grzbietu dłoni odbijające promieniowanie podczerwone.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Przy wyznaczonym z pomiarów jednorazowym czasie ekspozycji wynoszącym 7 s nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony oczu.

Należy zauważyć, że dopiero zwiększenie czasu jednorazowej ekspozycji powyżej 50 s spowoduje przekroczenie wartości MDE dla zagrożenia rogówki i soczewki.

Przykład 21. Operator pieca tunelowego zamkniętego

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Stanowisko operatora pieca tunelowego zamkniętego podczas spiekania węgla krzemu z krzemem. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzane do temperatury 1 440 °C wnętrze pieca. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności:

- kontroli wizualnej wnętrza pieca przez wizjer,
- kontroli wizualnej komory pieca po stronie wejścia i wyjścia.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-21.

Tabela Z.2.b-21. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora pieca tunelowego zamkniętego (na podstawie [5])

Operator pieca tunelowego zamkniętego							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – kontrola wizualna pieca przez wizjer							
Siatkówki*	0,8	62	9	$E_R = 1,8$	$L_R = 593$ $W/(m^2 sr)$	465 605 $W/(m^2 sr)$	0,000002
Rogówki i soczewki	0,8	–	9	$E_{IR} = 4,1$	$E_{IR} = 4,1$ W/m^2	3 464 W/m^2	0,0012
Skóry twarzy	0,8	–	9	$E_{skóra} = 10,5$	$H_{skóra} = 94,5$ J/m^2	34 641 J/m^2	0,0027
Skóry rąk	1	–	9	$E_{skóra} = 3$	$H_{skóra} = 27$ J/m^2	34 641 J/m^2	0,0078
Czynność – kontrola wizualna pieca po stronie wejścia i wyjścia							
Siatkówki*	0,15	1 400	3	$E_R = 7,74$	$L_R = 5,03$ $W/(m^2 sr)$	379 918 $W/(m^2 sr)$	0,00001
Rogówki i soczewki	0,15	–	3	$E_{IR} = 41$	$E_{IR} = 41$ W/m^2	7 896 W/m^2	0,0052
Skóry twarzy	0,15	–	3	$E_{skóra} = 376$	$H_{skóra} = 1 128$ J/m^2	26 322 J/m^2	0,043
Skóry rąk	0,7	–	3	$E_{skóra} = 42$	$H_{skóra} = 126$ J/m^2	26 322 J/m^2	0,0048

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ **Wniosek:**

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne oczu i skóry promieniowaniem podczerwonym.

➔ **Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?**

Nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony. Zwiększenie czy skrócenie czasu ekspozycji nie wpłynie na możliwość przekroczenia wartości MDE, gdyż poziomy ekspozycji są dużo niższe od minimalnych wartości MDE dla zagrożenia podczerwienią.

Przykład 22. Operator pieca tunelowego otwartego (oksydacyjnego)

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Stanowisko operatora pieca tunelowego otwartego. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzane do temperatury 1 250 °C wewnątrz pieca. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności kontroli wizualnej wewnątrz pieca.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała ze względu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-22.

Tabela Z.2.b-22. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora pieca tunelowego otwartego (na podstawie [5])

Operator pieca tunelowego otwartego							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – kontrola wizualna wewnątrz pieca							
Siatkówki*	2,84	327	6	$E_R = 18$	$L_R = 199$ W/(m ² sr)	319 472 W/(m ² sr)	0,0006
Rogówki i soczewki	2,84	–	6	$E_{IR} = 75,6$	$E_{IR} = 75,6$ W/m ²	4 695 W/m ²	0,016
Skóry twarzy	2,84	–	6	$E_{skóra} = 142$	$H_{skóra} = 852$ J/m ²	31 302 J/m ²	0,027
Skóry rąk	3,15	–	6	$E_{skóra} = 128$	$H_{skóra} = 768$ J/m ²	31 302 J/m ²	0,025

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000$ cd/m², czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne oczu i skóry promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony. Zwiększenie czy skrócenie czasu ekspozycji nie wpłynie na możliwość przekroczenia wartości MDE, gdyż poziomy ekspozycji są dużo niższe od minimalnych wartości MDE dla zagrożenia podczerwienią.

Przykład 23. Operator pieca hartowniczego – elektrycznego komorowego

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Stanowisko operatora pieca hartowniczego elektrycznego komorowego. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzane do temperatury 880 °C wnętrze pieca. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności wkładania i wyjmowania z pieca elementów stalowych.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-23.

Tabela Z.2.b-23. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora pieca hartowniczego – elektrycznego komorowego (na podstawie [5])

Operator pieca hartowniczego – elektrycznego komorowego							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – wkładanie i wyjmowanie elementów stalowych z pieca							
Siatkówki*	1,5	377	8	$E_R = 1,8$ W/m ²	$L_R = 12,98$ W/(m ² sr)	297 619 W/(m ² sr)	0,00004
Rogówki i soczewki	1,5	–	8	$E_{IR} = 1 502$ W/m ²	$E_{IR} = 1 502$ W/m ²	3 784 W/m ²	0,40
Skóry twarzy	1,5	–	8	$E_{skóra} = 3 050$ W/m ²	$H_{skóra} = 24 400$ J/m ²	33 636 J/m ²	0,73
Skóry rąk	0,7	–	8	$E_{skóra} = 3 980$ W/m ²	$H_{skóra} = 31 840$ J/m ²	33 636 J/m ²	0,95

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10 000$ cd/m², czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka średniego** ze względu na zagrożenie termiczne skóry promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jak ograniczyć ryzyko?

Zaleca się wyposażenie pracownika w rękawice ochronne.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony.

Wydłużenie czasu ekspozycji do ok. 30 s może spowodować przekroczenie wartości MDE dla zagrożenia termicznego rogówki i soczewki oczu. Z tego powodu, w celach profilaktycznych, zaleca się, aby pracownik był wyposażony w okulary ochronne i rękawice ochronne.

Przykład 24. Operator pieca hartowniczego – silitowego komorowego

Ocena zagrożenia termicznego promieniowaniem podczerwonym

Stanowisko operatora pieca hartowniczego silitowego komorowego. Źródłem promieniowania optycznego jest rozgrzane do temperatury 900 °C wnętrze pieca. Na stanowisku występuje narażenie na promieniowanie podczerwone podczas czynności wkładania i wyjmowania z pieca elementów stalowych.

Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała w narażeniu na promieniowanie optyczne przedstawiono w tabeli Z.2.b-24.

Tabela Z.2.b-24. Wyniki pomiarów i oceny zagrożenia termicznego ekspozycji części ciała na stanowisku operatora pieca hartowniczego – silitowego komorowego (na podstawie [5])

Operator pieca hartowniczego – silitowego komorowego							
Ocena zagrożenia termicznego	Odległość od źródła m	Wielkość źródła α mrad	Czas ekspozycji t_i s	Poziom promieniowania W/m^2	Poziom ekspozycji	MDE	k
Czynność – wkładanie i wyjmowanie elementów stalowych z pieca							
Siatkówki*	0,58	256	5	$E_R = 42$	$L_R = 453$ $W/(m^2sr)$	334 370 $W/(m^2sr)$	0,0004
Rogówki i soczewki	0,58	–	5	$E_{IR} = 469$	$E_{IR} = 469$ W/m^2	12 037 W/m^2	0,04
Skóry twarzy	0,58	–	5	$E_{skóra} = 1\ 269$	$H_{skóra} =$ 6 450 J/m^2	29 907 J/m^2	0,22
Skóry rąk	0,32	–	5	$E_{skóra} = 2\ 600$	$H_{skóra} =$ 13 000 J/m^2	29 907 J/m^2	0,44

* Zmierzona luminancja świetlna $L < 10\ 000\ cd/m^2$, czyli źródło promieniowania można uznać za słaby bodziec świetlny.

➔ Wniosek:

Na badanym stanowisku pracy stwierdzono występowanie **ryzyka małego** ze względu na zagrożenie termiczne oczu i skóry promieniowaniem podczerwonym.

➔ Jakie dodatkowe środki bezpieczeństwa należałoby podjąć?

Nie są potrzebne żadne dodatkowe środki ochrony.

Zwiększenie czy skrócenie czasu ekspozycji nie wpłynie na możliwość przekroczenia wartości MDE, gdyż poziomy ekspozycji są dużo niższe od minimalnych wartości MDE dla zagrożenia podczerwienią.

Załącznik 3.

Słowniczek

Promieniowanie optyczne – część widma promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal z przedziału 100 nm ÷ 1 mm. Promieniowanie optyczne dzieli się na promieniowanie nadfioletowe, widzialne i podczerwone.

Promieniowanie nadfioletowe (UV) – część promieniowania optycznego o długościach fal z przedziału 100 ÷ 400 nm. Zakres promieniowania nadfioletowego dzieli się na trzy podzakresy:

- UVA: 315 ÷ 400 nm,
- UVB: 280 ÷ 315 nm,
- UVC: 100 ÷ 280 nm.

Promieniowanie widzialne (VIS) – część promieniowania optycznego o długościach fal z przedziału 380 ÷ 780 nm. Jest to promieniowanie zdolne do bezpośredniego wywołania wrażeń wzrokowych.

Promieniowanie podczerwone (IR) – część promieniowania optycznego o długościach fal z przedziału 780 nm ÷ 1 mm. Zakres promieniowania podczerwonego dzieli się na trzy podzakresy:

- IRA: 780 ÷ 1 400 nm,
- IRB: 1 400 ÷ 3 000 nm,
- IRC: 3 000 nm ÷ 1 mm.

Poziom promieniowania – wartość parametrów charakteryzujących promieniowanie optyczne jako fizyczny czynnik szkodliwy dla zdrowia w środowisku pracy [7].

Poziom ekspozycji – poziom promieniowania po uwzględnieniu środków ochrony zbiorowej, zastosowanych w celu ograniczenia ekspozycji pracownika na promieniowanie optyczne [7].

Maksymalna dopuszczalna ekspozycja (MDE) – poziom promieniowania, na który w normalnych warunkach pracy mogą być ekspozycjonowane osoby bez doznawania szkodliwych skutków dla zdrowia [8].

Krotność MDE (k) – iloraz poziomu ekspozycji (PE) i wartości MDE, określany wzorem:

$$k = \frac{PE}{MDE}$$

Natężenie napromienienia (w danym punkcie powierzchni), (E) – iloraz strumienia energetycznego $\Delta\Phi_e$ padającego na elementarną powierzchnię, zawierającą dany punkt, do jej pola powierzchni ΔS , czyli inaczej jest to gęstość powierzchniowa strumienia energetycznego [6, 9]:

$$E = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

Jednostka: W·m⁻².

Napromienienie (H), (inaczej nazywane: dawka) – iloczyn natężenia napromienienia (E) i czasu jego trwania (t):

$$H = E \cdot t$$

Jednostka: J·m⁻².

Luminancja energetyczna (radiacja), (L_e), (w określonym kierunku i punkcie powierzchni) – iloraz strumienia energetycznego ($\Delta\Phi_e$) wysyłanego przez daną powierzchnię (ΔA) w określonym kierunku (θ) do iloczynu rzutu tej powierzchni na płaszczyznę prostopadłą względem kierunku promieniowania i objętego nim kąta bryłowego (ω) [6, 9]:

$$L_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta A \cdot \cos\theta \cdot \omega}$$

gdzie:

θ – kąt między normalną do powierzchni a kierunkiem rozchodzenia się wiązki promieniowania.
Jednostka: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-2}$.

Kąt widzenia źródła promieniowania (α) – kąt płaski, w jakim widziane jest dane źródło promieniowania przy danej odległości oka pracownika od źródła i który jest równy kątowi wyznaczonemu przez to źródło na siatkówce oka. Wielkość kąta odzwierciedla obszar siatkówki, na którym jest ogniskowane promieniowanie źródła, które może spowodować skutki szkodliwe.
Jednostka: mrad.

Wielkość pozorna źródła (wielkość widoczna źródła), (d_θ) – widziana przez obserwatora wielkość źródła promieniowania, która jest uzależniona od kierunku jego obserwacji (ϑ). Gdy kąt pomiędzy prostopadłą do danego wymiaru źródła a kierunkiem obserwacji $\vartheta = 0^\circ$, wielkość pozorna równa jest wymiarowi źródła (d_\downarrow). W miarę wzrostu kąta ϑ wielkość pozorna źródła zmniejsza się zgodnie z kosinusem tego kąta, aż do kąta $\vartheta = 90^\circ$, kiedy wynosi zero.

Pozorna powierzchnia świecąca źródła (powierzchnia widoczna źródła), (A_θ) – wielkość postrzeganej przez obserwatora powierzchni płaszczyzny świecącej uzależniona od kierunku jej obserwacji (ϑ). Gdy kąt pomiędzy prostopadłą do powierzchni świecącej a kierunkiem obserwacji $\vartheta = 0^\circ$, pole pozornej powierzchni świecącej równe jest polu powierzchni świecącej (A_\downarrow). W miarę wzrostu kąta ϑ pole pozornej powierzchni świecącej zmniejsza się zgodnie z kosinusem tego kąta, aż do kąta $\vartheta = 90^\circ$, kiedy wynosi zero.

Kąt bryłowy (ω) – kąt przestrzenny, w jakim widziana jest powierzchnia źródła, przy danej odległości obserwacji. Kąt ten jest potrzebny do wyznaczania luminancji energetycznej na podstawie pomiaru natężenia napromienienia.
Jednostka: sr.

Rozkład widmowy skuteczności biologicznej promieniowania optycznego (względna skuteczność widmowa) – rozkład widmowy promieniowania charakterystyczny dla danego rodzaju skutku biologicznego. Stosowanie określonych funkcji skuteczności widmowej modyfikuje parametry widmowego natężenia napromienienia, napromienienia lub luminancji energetycznej w celu uwzględnienia niekorzystnych dla zdrowia skutków, w zależności od długości fali. W przypadku zastosowania funkcji skuteczności widmowej otrzymane parametry nazywa się skutecznymi. W przypadku oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym stosuje się 3 rozkłady widmowe skuteczności biologicznej:

- $S(\lambda)$: rozkład widmowy skuteczności wywoływania uszkodzeń oczu i skóry przez promieniowanie UV,
- $B(\lambda)$: rozkład widmowy skuteczności uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka,
- $R(\lambda)$: rozkład widmowy skuteczności uszkodzenia termicznego siatkówki oka.

Skuteczne natężenie napromienienia (E_s) – natężenie napromienienia promieniowaniem z zakresu długości fal od λ_1 do λ_2 , ważone według określonego rozkładu widmowego skuteczności biologicznej promieniowania ($S(\lambda)$ lub $B(\lambda)$ lub $R(\lambda)$), określone wzorem [6]:

$$E_s = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot X_{\lambda} \Delta\lambda$$

gdzie:

E_{λ} – natężenie napromienienia promieniowania o długości fali λ ,

X_{λ} – względna skuteczność widmowa promieniowania,

$\Delta\lambda$ – przedział długości fal promieniowania.

Jednostka: $W \cdot m^{-2}$.

Skuteczne napromienienie (H_s) – napromienienie w danym przedziale długości fal od λ_1 do λ_2 , ważone według określonego rozkładu widmowego skuteczności biologicznej promieniowania ($S(\lambda)$), określone wzorem [6]:

$$H_s = \sum_{i=1}^n \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot X_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t_i$$

lub

$$H_s = E_s \cdot t$$

gdzie:

t_i – czas jednorazowej ekspozycji,

t – całkowity czas ekspozycji na promieniowanie.

Jednostka: $J \cdot m^{-2}$.

Skuteczna luminancja energetyczna źródła (skuteczna radiancja), (L_s) – luminancja energetyczna źródła w danym przedziale długości fal od λ_1 do λ_2 , ważona według określonego rozkładu widmowego skuteczności biologicznej promieniowania ($B(\lambda)$ lub $R(\lambda)$), określona wzorem [6]:

$$L_s = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot X_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

gdzie:

L_{λ} – luminancja energetyczna promieniowania o długości fali λ .

Jednostka: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$.

Całkowite natężenie napromienienia (natężenie napromienienia nieselektywne), (E_c) – natężenie napromienienia promieniowaniem z zakresu długości fal od λ_1 do λ_2 określone wzorem [6]:

$$E_c = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

Jednostka: $W \cdot m^{-2}$.

Całkowite napromienienie (napromienienie nieselektywne), (H_c) – napromienienie promieniowaniem z zakresu długości fal od λ_1 do λ_2 określone wzorem [6]:

$$H_c = \sum_{i=1}^n \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t_i$$

gdzie:

n – liczba ekspozycji,

t_i – czas jednorazowej ekspozycji na promieniowanie.

Jednostka: $J \cdot m^{-2}$.

Czas jednorazowej ekspozycji na promieniowanie (t_i) – czas pojedynczej ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie optyczne podczas wykonywania określonych czynności.

Jednostka: s.

Całkowity czas ekspozycji na promieniowanie (t_c) – łączny czas ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie optyczne podczas wykonywania określonych czynności, w ciągu całej zmiany roboczej.

Jednostka: s.

Dozwolony czas ekspozycji (t_{doz}) – najdłuższy dozwolony czas ekspozycji pracownika, przy którym poziom ekspozycji jest równy wartości MDE.

Jednostka: s.

1. 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=yes>
2. Wolska A.: *Promieniowanie optyczne w środowisku pracy*. Warszawa, CIOP-PIB 2013.
3. Wolska A., Latała A., Pawlak A.: *Bezpieczeństwo fotobiologiczne wybranych źródeł światła stosowanych do celów oświetleniowych*. Przegląd Elektrotechniczny 2012, 6, 259-263.
4. Wolska A., Latała A., Pawlak A.: *Opracowanie poradnika dla pracodawców dla potrzeb oceny ryzyka zawodowego związanego ze sztucznym promieniowaniem optycznym uwzględniającego wymagania dyrektywy 2006/25/WE/*. Zadanie 07.A.12. Etap 2. "Opracowanie krajowej wersji poradnika dla pracodawców uwzględniającego wymagania dyrektywy 2006/25/WE oraz polskich aktów prawnych wdrażających tę dyrektywę". Program wieloletni „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”. II etap. Warszawa, CIOP-PIB 2012. [Praca niepublikowana].
5. Wolska A., Latała A., Zamojski A.: *Opracowanie poradnika dla pracodawców dla potrzeb oceny ryzyka zawodowego związanego ze sztucznym promieniowaniem optycznym uwzględniającego wymagania dyrektywy 2006/25/WE/*. Zadanie 07.A.12. Etap 1. "Przeprowadzenie pomiarów spektrometrycznych wybranych źródeł promieniowania w celu określenia ich klasy bezpieczeństwa fotobiologicznego oraz pomiarów parametrów promieniowania optycznego na wybranych stanowiskach pracy, na których występuje narażenie na promieniowanie optyczne dla potrzeb oceny ryzyka zawodowego". Program wieloletni „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”. II etap. Warszawa, CIOP-PIB 2011. [Praca niepublikowana].
6. Wolska A., Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*. Warszawa, CIOP 2001.
7. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej 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; 2012, poz.787.
8. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. DzU 2010, nr 141, poz. 950.
9. PN-E-01005:1990 *Technika świetlna. Terminologia*.

