

Materiały szkoleniowe

NIELASEROWE PROMIENIOWANIE OPTYCZNE

ZAGROŻENIA I PROFILAKTYKA

Serwis internetowy BEZPIECZNIEJ

CIOP-PIB

Ver. 2020

[1.] Wstęp

Promieniowanie optyczne jest to część widma promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal z przedziału 100 nm – 1 mm. Promieniowanie optyczne dzieli się na promieniowanie nadfioletowe, widzialne i podczerwone. Zgodnie z polską normą PN-E: 01005:1990 *Technika świetlna. Terminologia* poszczególnym zakresom promieniowania optycznego odpowiadają przedstawione w tabeli 1.1 zakresy długości fal.

Tabela 1.1. Zakresy promieniowania optycznego.

Nazwa zakresu promieniowania	Zakres długości fal
Nadfiolet (UV):	100 - 400 nm
4. Nadfiolet bliski (UVA)	315 - 400 nm
5. Nadfiolet średni (UVB)	280 - 315 nm
6. Nadfiolet daleki (UVC)	100 - 280 nm
Widzialne (VIS)	380 - 780 nm
Podczerwień (IR):	780 nm – 1 mm
7. Podczerwień bliska (IRA)	780 – 1400 nm
8. Podczerwień średnia (IRB)	1400 – 3000 nm
9. Podczerwień daleka (IRC)	3000 nm – 1 mm

Promieniowanie optyczne jest ważnym czynnikiem środowiska o dużej aktywności biologicznej niezbędnym do prawidłowego rozwoju i działalności człowieka. Jednak jego nadmiar powoduje szereg niekorzystnych efektów biologicznych.

Promieniowanie optyczne występuje jako naturalny składnik promieniowania słonecznego oraz wytwarzane jest w sposób sztuczny przez człowieka i wykorzystywane w różnych procesach technologicznych, medycynie, kosmetyce czy pracach badawczych. Promieniowanie to stanowi również produkt uboczny działalności zawodowej człowieka [Wolska A, Dybczyński W. *Nielaserowe promieniowanie optyczne*, rozdział 3.8. w *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy*, pod redakcją Prof. D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008, str.: 319-338]. Nadmierna ekspozycja na promieniowanie optyczne w środowisku pracy może wywoływać skutki szkodliwe dla zdrowia. Z tego względu promieniowanie to zalicza się do czynników szkodliwych w środowisku pracy i w 2006 r. Parlament Europejski ustanowił nową dyrektywę szczegółową dotyczącą ekspozycji zawodowej na sztuczne promieniowanie optyczne. Jest to 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). 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. Polska, jako kraj członkowski Unii Europejskiej, zobowiązana była 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 mogła nastąpić jednym aktem prawnym i szczegółowe przepisy określa w Polsce 8 rozporządzeń.

[2.] Stan prawny dotyczący promieniowania optycznego w środowisku pracy

Rozporządzeniami bezpośrednio transponującymi zapisy dyrektywy 2006/25/WE są:

- Rozporządzenie MPiPS w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne z dnia 27 maja 2010 r. (ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2013, poz. 1619),
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286).

Ponadto w przypadku stanowisk pracy, na których występuje ekspozycja na promieniowanie optyczne należy stosować również inne rozporządzenia, które implementują i uszczegóławiają wymagania 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 (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy (Dz.U. 2010 nr 240 poz. 1611, ze zmianami, t.j. Dz.U.2016 poz. 2067)
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [9],
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796)
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy

Rozporządzenie w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne określa minimalne wymagania bhp przy ekspozycji na sztuczne promieniowanie optyczne: nielaserowe i laserowe, dotyczące w szczególności:

- a) Wyznaczania poziomu ekspozycji
- b) Oceny ryzyka zawodowego
- c) Unikania lub ograniczania ryzyka zawodowego
- d) Informowania i szkolenia pracowników

Rozporządzenie zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy określa w załączniku nr 2 „Wykaz wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w

środowisku pracy” część D: nowe kryteria i wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na promieniowanie optyczne zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy 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 oświetlenia pomieszczeń lub stanowisk pracy, stosowane w przeznaczonych dla nich oprawach oświetleniowych oraz w odpowiedniej odległości od ekspozycyjnych części ciała. Natomiast częstotliwość 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.

Jeżeli podczas dwóch ostatnich badań i pomiarów promieniowania optycznego, wykonanych w odstępie dwóch lat, poziom ekspozycji nie przekraczał 0,4 wartości MDE, pracodawca może odstąpić od wykonywania pomiarów.

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

- Zakres i częstotliwość badań lekarskich wstępnych i okresowych osobno dla nielaserowego: UV, VIS i IR oraz dla promieniowania laserowego.
- 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.

Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionym młodocianym określa, w Załączniku 1 pkt.

3. *Prace w narażeniu na szkodliwe działanie czynników fizycznych* 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

Rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionym kobietom określa, w *Wykazie prac wzbronionym kobietom dla kobiet w ciąży* ograniczenie wartości MDE do ¼ wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń promieniowania nadfioletowego, określonych w przepisach w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

Rozporządzenie w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy.

Rozporządzenie to określa:

- 1) szczegółowe zasady szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy, zwanego dalej "szkoleniem";
- 2) zakres szkolenia;
- 3) wymagania dotyczące treści i realizacji programów szkolenia;
- 4) sposób dokumentowania szkolenia;
- 5) 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* uszczegółwiają jaki zakres informacji powinien być przekazany pracownikowi.

[3.] Obowiązujące normy w zakresie promieniowania optycznego w środowisku pracy

Zgodnie z zapisami Rozporządzenia w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne pracodawca może ustalić poziom promieniowania na podstawie pomiarów lub na podstawie danych producenta urządzenia, zawierających wyniki pomiarów emitowanych poziomów promieniowania. Sposób wykonywania pomiarów parametrów promieniowania optycznego w celu wyznaczenia poziomu ekspozycji lub poziomów promieniowania emitowanych przez urządzenia określają polskie normy.

Sposób wykonywania pomiarów parametrów promieniowania optycznego do celów oceny zagrożenia nielaserowym promieniowaniem optycznym na stanowiskach pracy określają normy:

- PN-T-06589: 2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy* (norma wycofana)
- PN-T-05687: 2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy* (norma wycofana)
- PN-EN 14255-1: 2010 *Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 1 : promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowiskach pracy.*
- PN-EN 14255-2: 2010 *Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowiskach pracy.*

Pomimo, iż norma PN-T-05687: 2002 jest normą wycofana przez Polski Komitet Normalizacyjny, to nie znaczy, że nie można korzystać z jej zapisów, zwłaszcza przydatnych w zakresie sposobu przeliczania natężenia napromienienia na luminancje energetyczną. Takich informacji nie zawiera norma PN-EN 14255-2: 2010, która zastąpiła ww. normę wycofaną.

Uzyskane wyniki pomiarów, przy uwzględnieniu kryteriów oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym przedstawionych w rozdziale 4 porównuje się z odpowiednimi wartościami MDE i na tej podstawie określa ryzyko zawodowe związane z tym czynnikiem.

Zgodnie z zapisami zawartymi w rozporządzeniu dotyczącym bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne ocenę ryzyka zawodowego można wykonać bez konieczności wykonywania wcześniej pomiarów, jeśli dysponujemy informacjami dostarczonymi przez producentów źródeł promieniowania i związanych z nimi urządzeniami (np. podanie przez producenta oznaczenia klasyfikacji źródeł promieniowania nielaserowego czy kategorii emisji maszyny). Normy związane z oceną emisji promieniowania optycznego przez źródła lub maszyny to:

- PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*

- PN-EN 12198-1: 2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszenie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny: Część 1. Zasady ogólne*
- PN-EN 12198-2: 2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszenie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny: Część 2. Sposób pomiaru emitowanego promieniowania*

Na podstawie informacji uzyskanej od producenta (potwierdzonej świadectwem wykonania odpowiednich pomiarów) dotyczącej:

- grupy ryzyka danego typu źródła (urządzenia oświetleniowego) wyznaczonej zgodnie z PN-EN 62471:2010 lub
- kategorii emisji maszyny wyznaczonej zgodnie z PN-EN 12198-1: 2010

można ocenić poziom promieniowania i ekspozycji niezbędny do oceny ryzyka zawodowego bez konieczności wykonania pomiarów.

[4.] Źródła ekspozycji w środowisku pracy i życia

Podział źródeł promieniowania optycznego:

- naturalne (Słońce oraz Księżyc, gwiazdy, nieboskłon)
- sztuczne.

Skład procentowy promieniowania docierającego do Ziemi ze Słońca: 7% nadfioletu, 50% podczerwieni i 43% promieniowania widzialnego. Zakres widmowy tego promieniowania od około 290 nm do 2 700 nm.

Podział sztucznych źródeł promieniowania:

- źródła elektryczne,
- procesy technologiczne.

Źródła elektryczne mogą emitować promieniowanie nadfioletowe, widzialne oraz podczerwone.

Zalicza się do nich:

- promienniki nadfioletu (w zakresie A, B i C) - (światłówkowe lub rtęciowe promienniki UV, promienniki rtęciowe, diody LED UV,
- źródła emitujące tylko promieniowanie widzialne (żarówki głównego szeregu, światłówki, źródła ledowe),
- źródła emitujące oprócz promieniowania widzialnego promieniowanie nadfioletowe (żarówki halogenowe, lampy metalohalogenkowe, rtęciowe, ksenonowe),
- promienniki podczerwieni (żarówki IR, promienniki ceramiczne, suszarki do włosów, lokówki, żelazka, prodiże, piekarniki).

Rodzaje procesów technologicznych:

- spawanie elektryczne i gazowe, cięcie łukiem plazmowym lub tlenem,
- zgrzewanie,
- wanny szklarskie,
- piece hutnicze, hartownicze, wytop metali, itp.

4.1. Źródła elektryczne

4.1.1. Promienniki nadfioletu

Promienniki nadfioletu są idealnym źródłem energii wykorzystywanym w wielu procesach fizycznych, chemicznych i biochemicznych. Obecnie jako elektryczne źródła promieniowania nadfioletowego wykorzystuje się różnego rodzaju lampy wyładowcze.

Wysokoprężne promienniki emitujące głównie pasmo UV-A, z maksimum dla długości fali 366 nm, wykorzystywane są np. do analiz laboratoryjnych, wywoływania różnego rodzaju reakcji fotochemicznych, identyfikacji materiałów, diagnostyki chorób skórnych. Niskoprężne lampy emitują ponad 80% całkowitej energii promieniowania w jednej długości fali - 253,7 nm. Lampy te stosuje się

głównie do odkażania powietrza, odzieży, wody i innych substancji, ponieważ ich promieniowanie jest silnie bakteriobójcze. Są to np. lampy owadobójcze oraz testery do banknotów.

Zastosowanie promienników nadfioletu obejmuje wiele gałęzi przemysłu, w tym głównie: spożywczy (dezynfekcja produktów), elektroniczny (utwardzanie lakierów UV pokrywających odwody drukowanych), chemiczny, meblarski, poligraficzny, farmaceutyczny, kosmetyczny oraz medycynę (leczenie żółtaczki fizjologicznej, łuszczycy, urządzenia terapeutyczne), kosmetykę (solaria, fototerapia), przedsiębiorstwa wodociągowe, stacje dializ oraz baseny (dezynfekcja).

Jedno z największych zastosowań promieniowania nadfioletowego występuje w przemyśle poligraficznym. Związane jest ono z coraz bardziej rosnącym wykorzystaniem farb i lakierów utwardzanych za pomocą promieniowania UV. Najwięcej stosuje się ich w sitodruku i fleksodruku, na kolejnych miejscach są lakierowanie i offset. Druk farbami UV w największym stopniu wykorzystuje się przy zadruku nienasiąkliwych materiałów, głównie dzięki ich zdolności do momentalnego utwardzenia. Lakier UV stosuje się do uszlachetniania gotowych druków. Pełni on funkcję ochronną i estetyczną ze względu na wysoką jakość połysk. Można również stosować lakier matowy. Warstwa lakieru stanowi również bardzo doskonałą ochronę druku i wydruków przed zarysowaniem, chemikaliami, olejami, tłuszczami, wilgocią, mrozem, wysokimi temperaturami. Wydruki takie można zginać, tłoczyć, jest możliwe także tłoczenie gorącą folią. Również w kopioramach, które służą do naświetlania klisz, stosowane są promienniki UV-A o łącznej mocy rzędu 2 kW.

W maszynach poligraficznych zastosowane są przede wszystkim liniowe rtęciowe źródła wysokoprężne o dużych mocach. Promienniki te wykonane są ze szkła kwarcowego, które w niektórych typach lamp domieszkowane jest tlenkiem tytanu w celu wyeliminowania krótkich fal promieniowania nadfioletowego odpowiedzialnego za powstawanie ozonu. Są to promienniki o bardzo dużych mocach, od 1 kW do 20 kW i napięciu pracy kilku kilowoltów. Stosowane są one przy wykonywaniu matryc sitodrukowych, suszeniu lakierów akrylowych, farb oraz w procesach fotochemicznych. Natomiast promienniki o wyższym ciśnieniu gazów w bańce wyładowczej stosowane są przy suszeniu lakierów poliestrowych oraz również w procesach fotochemicznych. W procesach produkcji płyt offsetowych oraz płytek drukowanych, jak również w suszeniu lakierów stosowane są promienniki metalohalogenkowe. Emitują one promieniowanie z zakresu 300 ÷ 440 nm i są produkowane o mocach od 400 do 1 750 W.

Jednym z najpopularniejszych zastosowań promieniowania nadfioletowego jest dezynfekcja. Wyróżnia się dezynfekcję:

- powietrza: szpitale, wytwarzanie żywności, systemy wentylacji, oczyszczacze powietrza,
- powierzchniową: opakowania, warzywa, przyprawy (przemysł spożywczy),
- płynów: woda pitna, woda technologiczna, stawy rybne, akwaria, ścieki.

W przypadku systemów dezynfekcji występują dwie wersje: otwarta, w której promienniki emitują nadfiolet bezpośrednio w przestrzeń oraz zamknięta – w postaci urządzeń typu przepływowego. Urządzenia przepływowe są bardziej uniwersalne, gdyż nie występują wówczas zagrożenia tym promieniowaniem.

W procesie uzdatniania wody ozon stosowany jest do utleniania zanieczyszczeń i dezynfekcji wody. Po tym procesie w wodzie pozostaje wolny ozon, który promienie UV katalizują do nieszkodliwej postaci tlenu. W procesie otrzymywania ultra czystej wody promienie UV używane są do usuwania z wody organicznych związków węgla. Promieniowanie UV powoduje powstawanie rodników, które utleniają organiczne związki węgla do dwutlenku węgla i wody. Promieniowanie UV może być również wykorzystywane do destrukcji wolnego chloru i chloramin – jako alternatywa dla tradycyjnych metod tj. adsorpcji na węglu aktywnym lub dozowaniu chemikaliów.

4.1.2. Charakterystyka promienników podczerwieni

Sztuczne źródła promieniowania podczerwonego są to najczęściej:

- lampy łukowe,
- żarowe promienniki podczerwieni, lampy ksenonowe,
- urządzenia do ogrzewania,
- ceramiczne lub kwarcowe promienniki podczerwieni.

Szczególnie powszechnie stosowane są ceramiczne lub kwarcowe promienniki podczerwieni ze względu na ich uniwersalność, wysoką odporność korozyjną, odporność na środowiska agresywne, sterylność, możliwość sterowania pracą, czy niską bezwładnością temperaturową.

Długość fali, przy której występuje maksymalna emisja promieniowania podczerwonego zależy od temperatury ciał emitujących to promieniowanie. Im mniejsza temperatura tego ciała tym długość fali promieniowania jest większa. W lampowych promiennikach podczerwieni źródłem promieniowania jest drut wolframowy podgrzany do temperatury $2\ 300 \div 2\ 500$ K. Promieniowanie o takiej temperaturze zawiera zarówno podczerwień jak i promieniowanie widzialne. Jednak istotny wpływ na widmo promieniowania lamp ma charakterystyka przepuszczalności materiału ich bańki.

Podstawowe zastosowania elektrycznych źródeł podczerwieni to:

- przemysł drukarski i papierniczy - wielkoformatowe wydruki, nadruk na papierze i innych podłożach, klisze drukarskie, druk offsetowy i sitowy, suszenie powłok tekstyliów i plastików,
- lakiernie i farbiarniach do suszenia lakieru,
- przemysł spożywczy, gastronomia (podgrzewanie, rozmrażanie),
- przemysł drzewny - suszenie, produkcji forniru drewnianego,
- hodowla zwierząt,
- technice medycznej urządzenia terapeutyczne,

- przemysł tytoniowy, herbaciany, proszkowy - suszenie,
- przemysł papierniczy,
- ogrzewanie wnętrz, osuszanie,
- ogrodnictwo,
- ogrzewania wody,
- procesy przemysłowe - utrzymywanie stałej temperatury,
- przemysł tworzyw sztucznych - technologia powierzchni - kształtowanie i kurczenie plastików,
- przemysł tekstylny, produkcja dywanów i wykładzin podłogowych.

Również w poligrafii promieniowanie podczerwone znalazło bardzo duże zastosowanie. W suszarniach offsetowych wykorzystuje się krótkofalowe promieniowanie podczerwone (IR-A) w połączeniu z cyrkulacją gorącego i zimnego powietrza. Promieniowanie to nie podgrzewa powietrza (przez co nie ma strat), a energia wnika w głąb zarówno farby bądź lakieru, jak i drukowanego substratu. Przeznaczona jest do suszenia farb drukarskich i lakierów rozpryskiwanych. W urządzeniach tych stosuje się promienniki średnio- i krótkofalowe o mocach od 1 do kilkunastu kW.

4.1.3. Charakterystyka źródeł promieniowania widzialnego

Promieniowanie widzialne (o długości fal od 380 do 780 nm) emitowane jest przez elektryczne źródła światła. Ze względu na sposób wytwarzanego światła (rozgrzany skutek przepływu prądu elektrycznego żarnik z drutu wolframowego) żarówki oraz żarówki halogenowe zaliczane są do grupy źródeł termicznych. Druga grupa to źródła luminescencyjne, znacznie bardziej efektywne niż źródła termiczne. Najczęściej spotykanymi źródłami luminescencyjnymi są: lampy rtęciowe niskoprężne - świetlówki klasyczne i kompaktowe, lampy rtęciowe wysokoprężne, sodowe, lampy ksenonowe, diody elektroluminescencyjne (LED).

Elektryczne źródła światła emitujące promieniowanie widzialne stosowane są przede wszystkim do oświetlania wnętrz, terenów otwartych, ulic oraz podświetlania obiektów architektonicznych. Źródła te są również wykorzystywane np. w poligrafii (kopioramy - naświetlanie warstw światłoczułych) czy podczas czynności kontroli wzrokowej w przemyśle elektronicznym. W tym ostatnim przypadku może to być podświetlany blat stołu.

Kopiorama jest to urządzenie do stykowego kopiowania, czyli naświetlania materiału światłoczułego poprzez kliszę (z wywołanym obrazem) leżącą bezpośrednio na tym materiale. Profesjonalne kopioramy są wbrew pozorom urządzeniami skomplikowanymi z powodu wymogu idealnie takiego samego oświetlenia całego pola naświetlania oraz możliwości precyzyjnego dozowania ilości światła. Dodatkowym wymogiem jest usunięcie powietrza spomiędzy kliszy

z obrazem i naświetlanego podłoża w celu uniknięcia pierścieni Newtona. W kopioramach stosowane są źródła światła o mocach od 0,5 do 8 kW.

4.2. Procesy technologiczne

4.2.1. Spawanie

Pod pojęciem spawania (spajania) metali rozumie się scalanie ich przy użyciu ciepła, albo przez nadtopienie łączonych części, albo przy użyciu środka (dodatku) spawalniczego. Podczas tego procesu powstaje łuk spawalniczy, który jest szczególnym rodzajem źródeł promieniowania. Podział metod spajania zależy od:

- spawania z lub bez dodatku spawalniczego,
- rodzaju nośnika energii,
- materiału podłoża,
- sposobu wykonania,
- celu spajania,
- przebiegu spajania.

W związku z tym rozróżniamy następujące rodzaje spawania:

- łukiem swobodnym (ręczne),
- łukiem krytym (w pełni zautomatyzowane),
- łukowe w osłonie gazowej,
- elektrodą topliwą w gazie aktywnym (MAG),
- w gazie obojętnym: elektrodą topliwą (MIG) i elektrodą wolframową (WIG).

Promieniowanie emitowane podczas spawania składa się z intensywnego promieniowania termicznego rozgrzanych do wysokiej temperatury gazów spawalniczych, elementów spawanych lub ciętych, materiału elektrody i topnika. Ponieważ temperatura płomienia palnika gazowego nie przekracza na ogół 2 000 K, to promieniowanie to składa się głównie z podczerwieni i światła. Jedynie palniki wodorowe i acetylenowe, charakteryzujące się wyższą temperaturą spalania, mogą emitować bliski nadfiolet. Natomiast temperatura w łuku elektrycznym i plazmowym przekracza 4 000 K, a gdy spawanie odbywa się w osłonie gazów obojętnych – może sięgać nawet 30 000 K. Urządzenia te emitują więc intensywne światło niebieskie i promieniowanie nadfioletowe, w tym nadfiolet krótkofalowy. Natężenie napromienienia w zakresie UV w odległości od 0,7 m do 1 m od łuku elektrycznego lub plazmowego wynosi od kilku do kilkunastu W/m^2 , w zależności od rodzaju elektrody i warunków spawania. W związku z tym, spośród wszystkich źródeł nadfioletu, spawanie elektryczne stanowi największe zagrożenie dla zdrowia.

4.2.2. Procesy technologiczne podczas których emitowane jest promieniowanie podczerwone

Źródłem promieniowania podczerwonego (cieplnego) są wszelkie ciała ogrzane do względnie wysokich temperatur. W związku z tym promieniowanie to występuje na wielu gorących stanowiskach pracy, często jako skutek uboczny procesów technologicznych występujących, między innymi w:

- hutnictwie,
- przemyśle metalowym,
- meblarskim,
- poligraficznym.
- Typowymi źródłami termicznymi są:
 - otwory i ściany pieców topielnych, grzewczych, hartowniczych, ceramicznych, szklarskich,
 - roztopiony metal lub masa szklarska,
 - rozgrzane do wysokiej temperatury elementy metalowe lub szklane, obrabiane plastycznie, hartowane lub formowane
- paleniska.

Temperatury pieców, obrabianych elementów metalowych lub szklarskich wynoszą na ogół od 800 K do 2 000 K. Natężenie ich promieniowania zależy w mniejszym stopniu od temperatury, natomiast głównie od wielkości promieniującej powierzchni oraz odległości od niej i zwykle wynosi od kilkuset W/m² do kilkunastu kW/m².

Ciało o temperaturze nieprzekraczającej 500 K jest źródłem tylko promieniowania podczerwonego o długościach fal większych od 2 μm. Ciała o temperaturze od około 1 000 K do 1800 K emitują dodatkowo podczerwień bliską (IR-A) i bardzo niewiele, poniżej 1%, promieniowania widzialnego. Dopiero po przekroczeniu temperatury 3 000 K ciała promieniają oprócz podczerwieni i promieniowania widzialnego, również około 0,1% nadfioletu.

[5.] Charakterystyka oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka

Biologiczne działanie może wywołać jedynie promieniowanie pochłonięte. Rozróżnia się dwa rodzaje reakcji w tkankach biologicznych wywoływanych przez promieniowanie optyczne: fotochemiczną oraz termiczną. Skutki ekspozycji na to promieniowanie zależą od parametrów fizycznych promieniowania (długość fali, intensywność promieniowania dla poszczególnych długości fal), wielkości pochłoniętej dawki oraz właściwości optycznych i biologicznych ekspozowanej tkanki. [Wolska A, Dybczyński W. *Nielaserowe promieniowanie optyczne*, rozdział 3.8. w *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy*, pod redakcją Prof. D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008, str.: 319-338].

5.1. Działanie promieniowania nadfioletowego

Działanie tego promieniowania ma charakter fotochemiczny, a jego skutek biologiczny zależy od ilości pochłoniętego promieniowania (otrzymywane dawki sumuje się w ciągu całej zmiany roboczej), długości fali i rodzaju ekspozowanej tkanki (oko, skóra).

Promieniowanie nadfioletowe może spowodować zarówno korzystne jak i szkodliwe skutki dla organizmu człowieka. Korzystny wpływ nadfioletu polega m.in. na działaniu przeciwkrzywiczym (powstawanie witaminy D₃), oraz przyczynia się do wzrostu odporności organizmu, obniżenia ilości cholesterolu, szybszego gojenia się ran, ustępowania infekcji i niektórych chorób skóry. Nadmierna ekspozycja na promieniowanie nadfioletowe może prowadzić do wielu skutków niekorzystnych dla zdrowia człowieka w odniesieniu do skóry i oczu.

Oddziaływanie na skórę

Najbardziej widocznym, najczęściej spotykanym i badanym objawem ekspozycji skóry na nadfiolet jest jej rumień (zaczerwienienie), czyli erytema. Stopień zaczerwienienia i jego przebieg zależą od wielkości napromienienia i długości fali promieniowania. Wzrost dawki promieniowania powoduje skrócenie okresu utajenia (latencji), po którym pojawia się zaczerwienienie.

Duże dawki promieniowania UV mogą doprowadzić do poparzenia skóry objawiającego się bolesnymi obrzękami i pęcherzami. Po ustąpieniu rumienia pojawia się pigmentacja, czyli opalenizna skóry, która powstaje na skutek gromadzenia się melaniny w naskórku. Wówczas skóra zaczyna nabierać ciemniejszego zabarwienia, przez co zaczyna spełniać funkcję ochronną przed promieniowaniem nadfioletowym. Mimo, że powtarzająca się ekspozycja skóry na promieniowanie nadfioletowe uodparnia na jego działanie to długotrwałe narażenie na wysokie natężenia UV prowadzi do niekorzystnych zmian w naskórku: przyspiesza proces starzenia się skóry oraz wywołuje zmiany przednowotworowe i nowotworowe.

Wielokrotne narażenie skóry na promieniowanie nadfioletowe, szczególnie na promieniowanie o dużym natężeniu, może spowodować nadmierne rogowacenie, które jest czynnikiem sprzyjającym

powstawaniu nowotworów, takich jak rak podstawnocomórkowy i kolczystocomórkowy oraz czerniak. Proces powstawania nowotworów skóry pod wpływem ekspozycji na długotrwałe działanie nadfioletu jest związany z pochłanianiem tego promieniowania przez DNA. Pod wpływem nadfioletu w DNA powstają dimery pirimidyn i właśnie temu zjawisku przypisuje się główną rolę w procesie inicjowania zmian nowotworowych. Rozkład widmowy skuteczności karcinogennej nadfioletu dla skóry człowieka nie został do tej pory jednoznacznie ustalony. Na podstawie wyników badań eksperymentalnych przeprowadzanych na zwierzętach przyjmuje się, że najbardziej skuteczne pod względem wywoływania nowotworów jest promieniowanie o długościach fali zbliżonych do 300 nm [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001].

Oddziaływanie na oczy

Promieniowanie nadfioletowe pochłonięte przez oczy może powodować stany zapalne rogówki, spojówek, uszkodzenie siatkówki i rogówki oraz powstawania zaćmy fotochemicznej. Najczęściej spotykanym, ostrym objawem narażenia oka na nadfiolet jest stan zapalny rogówki i spojówek.

Promieniowanie o długości fali poniżej 290 nm jest silnie pochłaniane przez rogówkę i spojówkę oka. Absorpcja tego promieniowania powoduje stany zapalne rogówki objawiające się światłowstrętem, wzmożonym łzawieniem, uczuciem obcego ciała („piasku”) w oku, spazmem powiek, niekiedy upośledzeniem widzenia. Objawy zapalenia pojawiają się po okresie utajenia zależnym od widma promieniowania i wielkości pochłoniętej dawki UV, który może wynosić od 30 minut do nawet 24 godzin.

Zapalenie spojówek wywołane nadfioletem powstaje po okresie utajenia około 5 ÷ 10 godzin i objawia się ich zaczerwienieniem, swędzeniem, pieczeniem, łzawieniem. Czasami występuje światłowstręt, a w przypadku większej dawki dochodzi do bólu i zakłócenia prawidłowego widzenia [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]. Objawy ustępują po upływie od 10 godzin do kilku dni, zależnie od wielkości ekspozycji i intensywności powstałych zmian.

Promieniowanie nadfioletowe dłuższe od 290 nm jest przepuszczane przez rogówkę i ciecz wodnistą i dociera do soczewki oka. W soczewce jest silnie pochłaniane co może doprowadzić do powstawania zjawiska fluorescencji przeszkadzającego w procesie widzenia. Natomiast długotrwałe narażenie soczewki na intensywne promieniowanie UV prowadzi do powstania **zaćmy (fotochemicznej) czyli trwałego zmętnienia soczewki**. Rozwój zaćmy jest powolny i trwa wiele lat.

5.2. Działanie promieniowania widzialnego

W przypadku promieniowania widzialnego można jedynie mówić o jego szkodliwym działaniu na oczy człowieka. Intensywne promieniowanie widzialne, zwłaszcza tzw. światło niebieskie, o długościach fali $400 \div 500$ nm, może powodować termiczne lub fotochemiczne uszkodzenia i schorzenia siatkówki oka. Promieniowanie takie występuje podczas procesów technologicznych jak np. spawanie oraz jest emitowane przez promienniki elektryczne, np. lampy do naświetlania warstw światłoczułych. Jest ono także składową promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi.

W praktyce najczęściej dochodzi do uszkodzenia fotochemicznego siatkówki z uwagi na sumowanie się skutków ekspozycji w ciągu całodziennego okresu narażenia. Natomiast termiczne uszkodzenie siatkówki źródłami przemysłowymi praktycznie nie zdarza się z powodu naturalnego odruchu obronnego oka przed źródłami światła o dużej jasności.

5.3. Działanie promieniowania podczerwonego

Działanie podczerwieni na organizm człowieka ma przede wszystkim charakter termiczny co objawia się wzrostem temperatury narażonej tkanki i tkanek sąsiednich, a niekiedy również całego organizmu. Promieniowanie to, po przekroczeniu określonego poziomu natężenia może powodować oparzenia skóry, a także choroby oczu takie, jak zaćma, degeneracja naczyniówki czy siatkówki, które są zaliczane do chorób zawodowych.

Wzrost temperatury napromienianej tkanki zależy od natężenia jej napromienienia, szybkości chłodzenia, a także czasu ekspozycji. W przypadku ekspozycji dłuższych niż 0,1 s istotną rolę odgrywa chłodzenie tkanki przez przepływającą przez nią krew, a także odprowadzenie ciepła drogą przewodnictwa. Dlatego uważa się, że jeżeli nie doszło do uszkodzenia termicznego tkanek dobrze chłodzonych w ciągu kilkunastu sekund trwania narażenia, to nie dojdzie do niego również po dłuższej ekspozycji. Nie dotyczy to oczywiście tkanek źle chłodzonych, np. soczewki oka, której temperatura narasta przez długi czas [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego, CIOP, Warszawa, 2001].

Należy również pamiętać, że promieniowanie podczerwone (podobnie jak to było w przypadku nadfioletu) może wywoływać korzystne skutki dla organizmu człowieka. W leczeniu napromieniowanie tkanki podczerwienią wykorzystuje się między innymi do uzyskania miejscowej poprawy ukrwienia i pobudzenia przez to procesów metabolicznych. Ma to znaczenie szczególnie w leczeniu ograniczonych przewlekłych procesów zapalnych tkanek miękkich kończyn, stawów oraz niektórych części głowy, jak zatoki przynosowe, jama nosowa, ucho zewnętrzne, itp. Głęboko wnikające promieniowanie IR-A przyspiesza także proces gojenia następstw urazów stawów i części miękkich kończyn.

Oddziaływanie na skórę

Skutek zagrożenia podczerwienią w niewielkim stopniu zależy od długości fali promieniowania, a głównie od własności optycznych i termicznych napromienianej tkanki. Podczerwień bliska jest w dużej części odbijana przez skórę, a ponieważ w warstwie naskórka jest słabo pochłaniana, więc pozostała część wnika do najgłębiej położonych warstw tkanki skórnej, a nawet podskórnej, nagrzewając je. Ponieważ obszary te są dobrze chłodzone przez przepływającą przez nie krew, odprowadzającą nadmiar ciepła do wnętrza organizmu, przyrost temperatury tkanki jest wolniejszy niż w przypadku braku chłodzenia, a zatem odczucie parzenia występuje później, przy większych poziomach natężenia napromienienia. Jednak dostarczenie organizmowi dużych ilości ciepła może doprowadzić do jego przegrzania, dlatego promieniowanie IR-A jest pod tym względem bardziej niebezpieczne niż promieniowanie długofalowe, które prawie całkowicie zostaje pochłonięte w zewnętrznej, nieukrwionej warstwie naskórka i rzadziej jest przyczyną przegrzania, natomiast łatwiej może spowodować oparzenie skóry.

Głównym mechanizmem obronnym organizmu przed nadmiernym wzrostem temperatury skóry jest odczuwanie bólu. Receptory ciepła znajdujące się w skórze dostatecznie wcześnie sygnalizują nadmierny wzrost jej temperatury i w normalnych warunkach nie notuje się oparzenia skóry promieniowaniem podczerwonym. Znacznie bardziej zagrożona jest gałka oczna, nie posiadająca receptorów ciepła.

Oddziaływanie na oczy

Oczy są w większym stopniu niż skóra narażone na szkodliwe działanie podczerwieni. Gałka oczna w zasadzie nie dysponuje mechanizmami (receptorami ciepła) ostrzegającymi przed tym rodzajem promieniowania. Podczerwień jest najsilniej pochłaniana przez rogówkę: całkowicie w paśmie IR-C i częściowo w paśmie IR-B (powyżej 2 500 nm). Rogówka ma receptory wywołujące ból, gdy jej temperatura osiągnie około 47 °C. Natomiast oparzenie rogówki może wystąpić już w temperaturze o kilka stopni niższej. Dlatego ekspozycja oka na promieniowanie o dużym natężeniu może prowadzić do poparzenia rogówki [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001].

Do soczewki oka dociera przede wszystkim promieniowanie z pasma bliskiej podczerwieni IR-A oraz częściowo z pasma IR-B (o długościach fali poniżej 2400 nm). Gdy natężenie promieniowania jest duże, następuje przegrzanie soczewki ułatwione brakiem w niej naczyń krwionośnych, poprzez które ciepło mogłoby być odprowadzone. W wyniku przegrzania może dojść do zmian chemicznych związków białkowych soczewki, co objawia się powstawaniem zmętnienia (zaćmy). Tak więc najpoważniejszą chorobą związaną z narażeniem oka na promieniowanie podczerwone jest **zaćma podczerwienna (tzw. zaćma hutnicza)**, czyli zmętnienie soczewki. Zaćma rozwija się wolno, zwykle

kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt lat i jest wynikiem nie tylko bezpośredniego pochłaniania promieniowania podczerwonego przez soczewkę, lecz przede wszystkim pośredniego jej nagrzewania przez tęczówkę. Natomiast nadmierne promieniowanie z zakresu IR-A może prowadzić do termicznego uszkodzenia siatkówki oka (np. stany zapalne, poparzenia).

Długotrwała ekspozycja na promieniowanie podczerwone może również wywoływać stany zapalne tęczówek i spojówek, wysuszenie powiek i rogówek oraz zapalenie brzegów powiek [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001].

[6.] Kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym

Rozporządzenie zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [4] oraz dyrektywa 2006/25/WE [2] określają kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym oraz wartości graniczne ekspozycji. Jeśli na stanowisku pracy występują przekroczenia wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) dla promieniowania optycznego to wówczas stwierdza się duże ryzyko zawodowe i muszą być podjęte natychmiastowe działania ograniczające to ryzyko.

6.1. Promieniowanie nadfioletowe

Jako kryterium oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym przyjęto niedopuszczenie do powstania rumienia skóry, zapalenia rogówki i spojówki oka, rozwoju zmian nowotworowych skóry i zaćmy soczewki. Obowiązują następujące wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) [Rozporządzenie MPiPS z dnia 29 lipca 2010 r *zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*]:

- najwyższe dopuszczalne napromienienie skuteczne H_s promieniowaniem nadfioletowym oka i skóry w ciągu zmiany roboczej wynosi 30 J/m^2 , wyznaczone według krzywej skuteczności S_λ w zakresie $180 \div 400 \text{ nm}$.
- w celu niedopuszczenia do powstania zaćmy UV, dodatkowo ograniczono całkowite nieselektywne (niezależne od długości fali) napromienienie H_{UVA} oczu promieniowaniem pasma $315 \div 400 \text{ nm}$ do wartości $10\,000 \text{ J/m}^2$ w ciągu zmiany roboczej.

Rozkład widmowy względnej skuteczności biologicznej promieniowania nadfioletowego S_λ powodującego powstanie rumienia skóry oraz stanów zapalnych rogówki i spojówki oka przedstawiono w rozporządzeniu MPiPS z dnia 25 czerwca 2012 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne* oraz w normie PN-T-06589: 2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy*.

6.2. Promieniowanie widzialne

Rozróżnia się dwa rodzaje zagrożenia siatkówki oka promieniowaniem widzialnym: fotochemiczne i termiczne. Widmową skuteczność uszkodzenia fotochemicznego siatkówki określa krzywa B_λ , natomiast uszkodzenia termicznego siatkówki – krzywa R_λ , które przedstawiono w rozporządzeniu MPiPS z dnia 25 czerwca 2012 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne* oraz w normie PN-T-05687: 2002 *Ochrona przed promieniowaniem optycznym – Metody pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy*.

Ocenę zagrożenia fotochemicznego siatkówki dokonuje się dla promieniowania pasma 300 ÷ 700 nm (pomimo, iż zakres ten formalnie obejmuje część promieniowania UVB, całe UVA i większość promieniowania widzialnego to związane z nim zagrożenie określa się powszechnie mianem zagrożenia „światłem niebieskim”. W zależności od kąta widzenia źródła promieniowania (α) i całkowitego czasu ekspozycji (t) wyznacza się odpowiednio wartości skutecznej luminancji energetycznej (L_B) lub skutecznego natężenia napromienienia (E_B) z uwzględnieniem skuteczności widmowej uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka $B(\lambda)$. Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka promieniowaniem widzialnym w zależności od czasu ekspozycji i wielkości źródła światła przedstawiono w tabeli 6.1 [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Wolska A. *Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne*, CIOP-PIB, Warszawa, 2012].

Tabela 6.1. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka [Wolska A. *Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne*, CIOP-PIB, Warszawa, 2012]

Lp	Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE)		Czas ekspozycji (całkowity)
	Duże źródła $\alpha \geq 11$ mrad	Małe źródła $\alpha < 11$ mrad	
1	$L_B = 10^6/t$ [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]	$E_B = 100/t$ [$W \cdot m^{-2}$]	$t \leq 10\,000$ s (166 min 40 s)
2	$L_B = 100$ [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]	$E_B = 0,01$ [$W \cdot m^{-2}$]	$t > 10\,000$ s

Ocenę zagrożenia termicznego siatkówki dokonuje się dla źródeł emitujących w zakresie 380-1400 nm tj. promieniowanie widzialne i bliską podczerwień (IRA). W przypadku źródeł emitujących tylko promieniowanie widzialne lub emitujących zarówno promieniowanie widzialne i bliską podczerwień przyjmuje się inne kryteria i wartości MDE niż w przypadku źródeł emitujących bliską podczerwień. W przypadku oceny zagrożenia termicznego promieniowaniem widzialnym rozpatrujemy źródła o dużej jaskrawości tj. o luminancji świetlnej większej niż 1 cd/cm² (10 000 cd/m²). W zależności od kąta widzenia źródła promieniowania (α) i jednorazowego czasu ekspozycji (t) wyznacza się odpowiednio wartości skutecznej luminancji energetycznej (L_R) z zakresu 380-1400 nm z uwzględnieniem skuteczności widmowej uszkodzenia termicznego siatkówki oka $R(\lambda)$. Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) dla zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem 380 – 1400 nm w zależności od czasu ekspozycji i wielkości źródła światła (od której zależy współczynnik C_α we wzorach na MDE) przedstawiono w tabeli 6.2 [Rozporządzenie

Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy].

Tabela 6.2. Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem z zakresu 380-1400 nm [Wolska A. Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne, CIOP-PIB, Warszawa, 2012]

Lp	Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE)	Czas ekspozycji (jedenorazowy)	Bezwymiarowy współczynnik C_α
1	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$t_i \geq 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 1,7$ dla $\alpha < 1,7 \text{ mrad}$
2	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$10^{-6} \text{ s} \leq t_i < 10 \text{ s}$	$C_\alpha = \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$
3	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$t_i < 10^{-6} \text{ s}$	$C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100 \text{ mrad}$

6.3. Promieniowanie podczerwone

Jako kryterium zagrożenia promieniowaniem podczerwonym przyjmuje się niedopuszczenie do powstania uszkodzenia termicznego rogówki, spojówki, soczewki i siatkówki oka oraz skóry.

Ocenę zagrożenia termicznego rogówki i soczewki należy dokonywać dla zakresu 780 ÷ 3 000 nm na podstawie pomiaru całkowitego natężenia napromienienia (E_{IR}) w tym zakresie, a wartości MDE zależą od czasu jednorazowej ekspozycji i wynoszą odpowiednio [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Wolska A. *Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne*, CIOP-PIB, Warszawa, 2012].

$$E_{IR} = 18\,000 t_i^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i < 1\,000 \text{ s}$,

lub:

$$E_{IR} = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2},$$

gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i \geq 1\,000 \text{ s}$.

Ocenę obciążenia termicznego skóry należy dokonywać dla całego zakresu 380 - 3000 nm w przypadku, gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i < 10 \text{ s}$. Wówczas całkowite napromienienie skóry $H_{skóra}$ nie powinno przekraczać wartości określonej równaniem [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy]:

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

[7.] Metody badań promieniowania optycznego na stanowiskach pracy

Wybór metody pomiaru promieniowania optycznego uzależniony jest od następujących czynników:

- wielkości mierzonej,
- rozmiaru kąтового źródła promieniowania,
- pasma pomiarowego - długość fali,
- zastosowanego urządzenia pomiarowego,
- kalibracji miernika do pomiaru określonej wielkości,
- czasu pomiaru,
- czasu trwania badanego procesu,
- sposobu wykonania pomiaru,
- możliwości obliczenia wyniku ze zmierzonej wielkości.

W związku z powyższymi czynnikami, w praktyce stosowane są następujące rodzaje mierników:

- radiometr szerokopasmowy,
- spektrometr z matrycą detektorów,
- spektrometr skanujący,
- dozometr ochrony osobistej.

W zależności od mierzonej wielkości sondy statycznego radiometru szerokopasmowego mogą być wykalibrowane do pomiarów skutecznego napromienienia (H_S), lub skutecznego natężenia napromienienia (E_S), lub całkowitego napromienienia (H_e), lub natężenia napromienienia (E_e). Ponadto muszą pokrywać odpowiedni zakres widma zgodny z obowiązującymi MDE. Za pomocą spektrometrów można wykonać pomiar widmowego natężenia napromienienia. Natomiast dozymetry ochrony osobistej muszą być wykalibrowane do skutecznego napromienienia (H_S).

7.1 Radiometr szerokopasmowy

W praktyce, do wykonywania pomiarów w zakresie wymaganym przez [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286)] na stanowiskach pracy najwygodniejszym jest przenośny radiometr szerokopasmowy z zestawem sond pomiarowych odpowiednio dobranych do zakresu promieniowania oraz rozpatrywanego zagrożenia. Miernik ten umożliwia szybki pomiar oraz bezpośredni odczyt wartości mierzonej. Sondę pomiarową należy umieszczać na wysokości badanego narządu (oko, skóra twarzy lub dłoni), dla którego jest rozpatrywane zagrożenie. W przypadku wyznaczania ekspozycji poruszających się osób niezbędne jest wykonanie pomiarów w poszczególnych miejscach ich przebywania

Wykalibrowanie sond radiometru do pomiarów skutecznego napromienienia (H_S) lub skutecznego natężenia napromienienia (E_S) oznacza, że ich czułość widmowa musi być skorygowana do względnej skuteczności widmowej wywoływania uszkodzeń fotochemicznych $S(\lambda)$. Natomiast do pomiarów skutecznej radiancji (L_B) lub skutecznego natężenia napromienienia (E_B) światłem niebieskim oznacza, że ich czułość widmowa musi być skorygowana do względnej skuteczności widmowej wywoływania uszkodzeń fotochemicznych $B(\lambda)$. W przypadku pomiarów skutecznej radiancji (L_R) promieniowania z zakresu VIS i IR-A lub tylko IR-A konieczne jest wykalibrowanie sond pomiarowych do względnej skuteczności widmowej wywoływania uszkodzeń termicznych $R(\lambda)$. Do oceny zagrożenia soczewki oka promieniowaniem UV-A, rogówki i soczewki oka promieniowaniem z zakresu IR-A i IR-B oraz skóry z zakresu VIS, IR-A i IR-B sondy nie mogą posiadać żadnej korekcji (ich charakterystyka powinna być liniowa), natomiast ich zakres widmowy musi pokrywać się z wymaganym przez MDE.

Poza pomiarami radiometrycznymi konieczny jest również pomiar czasu ekspozycji - całkowitego lub jednorazowego. Całkowity czas ekspozycji wyznaczany jest w przypadku oceny zagrożenia fotochemicznego oka promieniowaniem UV, UV-A i światłem niebieskim oraz skóry promieniowaniem UV. Natomiast jednorazowy czas ekspozycji określany jest w celu oceny zagrożenia termicznego oka oraz skóry promieniowaniem z zakresu VIS, IR-A i IR-B.

Ponadto należy wyznaczyć kąt widzenia źródła promieniowania (α). Jest to niezbędne do określenia zagrożenia siatkówki oka – fotochemicznego światłem niebieskim oraz promieniowaniem z zakresu VIS i IR-A oraz samego IR-A.

Przykładowym szerokopasmowym radiometrem, który można wyposażyć w sondy pomiarowe o różnych zakresach widmowych i charakterystykach jest radiometrem ILT 1700 lub ILT 1400 produkcji International Light – USA. Spośród sond pomiarowych, które oferuje producent, można dobrać takie, za pomocą których będzie można wykonać bezpośrednio pomiary prawie wszystkich wymaganych parametrów promieniowania optycznego.

7.2. Metoda spektrometryczna

Za pomocą spektrometrii, w zależności od zastosowanego układu wejściowego, można dokonać pomiaru widmowego natężenia napromienienia lub widmowej luminancji energetycznej (radiancji) źródła promieniowania. W pierwszym przypadku układem wejściowym będzie kula całkująca, a w drugim teleskop.

Metoda spektrometryczna przydatna jest tylko w przypadku pomiarów statycznych. Do wyznaczenia ekspozycji poruszających się pracowników niezbędne jest wykonanie kilku pomiarów. Spektrometr z matrycą detektorów zapewnia szybki pomiar widmowego natężenia napromienienia źródeł promieniowania stałych lub zmieniających się w czasie. Natomiast skanujący

spektrometr statyczny zapewnia bardzo dokładny pomiar widmowego natężenia napromienienia, ale z powodu długiego czasu pomiaru i sekwencyjnego skanowania, nadaje się tylko do pomiaru nie zmieniających się w czasie źródeł promieniowania.

W przypadku wyznaczania skutecznego natężenia napromienienia w zakresie długości fal od 180 do 400 nm niezbędny jest pomiar czasu oraz przeliczenie wyników pomiarów z uwzględnieniem krzywej skuteczności widmowej $S(\lambda)$. Natomiast w przypadku wyznaczania natężenia napromienienia w zakresie od 315 do 400 nm konieczny jest tylko dodatkowy pomiar czasu.

Stosowanie spektrometru z matrycą detektorów nie jest zalecane przez normę [PN-EN 14255-2] do oceny zagrożenia światłem niebieskim (pomiar radiacji światła niebieskiego) w przypadku gdy rozmiar kątowy źródła promieniowania α jest poniżej 11 mrad. Natomiast w przypadku oceny zagrożenia termicznego siatkówki (pomiar radiacji w zakresie 380 do 1 400 nm lub w zakresie 780 do 1 400 nm) w normie [PN-EN 14255-2] podane są ograniczenia dotyczące wielkości kąta odbioru lunety spektrometru.

Zgodnie z normą [PN-EN 14255-2] metoda wykorzystująca skanujący spektrometr statyczny nadaje się do wyznaczania oceny zagrożenia:

- fotochemicznego siatkówki oka światłem niebieskim,
- termicznego siatkówki oka promieniowaniem VIS i IR-A oraz tylko IR-A
- termicznego rogówki i soczewki oka promieniowaniem IR-A i IR-B,
- termicznego skóry promieniowaniem VIS, IR-A i IR-B

tylko w przypadku źródeł o stałym w czasie natężeniu promieniowania.

Również zgodnie z normą [PN-EN 14255-2] do wyznaczania oceny zagrożenia termicznego skóry w zakresie od 380 do 3 000 nm nie można wykorzystać żadnego rodzaju spektrometru.

7.3. Metoda dozymetryczna

Metoda dozymetryczna polega na stosowaniu przez osoby badane dozymetrów ochrony osobistej. Stosuje się ją tylko do pomiaru napromienienia promieniowaniem nadfioletowym (H). W związku z tym dodatkowy pomiar czasu nie jest potrzebny. Jest to pomiar reprezentatywny na osobie badanej, gdyż umożliwia pomiar we wszystkich miejscach, w których przebywa ta osoba. Za pomocą kilku dozymetrów można wyznaczyć rozkład ekspozycji na ciele człowieka. W przypadku stosowania dozymetrów pasywnych wynik z pomiaru jest możliwy do otrzymania po zakończonym pomiarze. W przypadku dozymetrów aktywnych wynik pomiaru jest możliwy do odczytu w czasie rzeczywistym.

7.4. Ocena bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych

Ocena bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych dokonywana jest według normy [PN-EN 62471 2010. Bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych] poprzez pomiar szerokopasmowy i widmowy:

- natężenia napromienienia,
- luminancji energetycznej (radiacji).

Pomiary natężenia napromienienia stosuje się do następujących zagrożeń:

- oka w zakresie 315 – 400 nm,
- oka i skóry promieniowaniem aktywnym UV,
- oka promieniowaniem podczerwonym,
- termicznych skóry.

Pomiary widmowej luminancji energetycznej stosuje się do następujących zagrożeń:

- siatkówki oka światłem niebieskim,
- termicznych siatkówki oka,
- termicznych siatkówki oka – przy słabym bodźcu świetlnym.

Zlecanymi przez normę [PN-EN 62471 2010. Bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp i systemów lampowych] przyrządami pomiarowymi są:

- spektrometr z podwójnym monochromatorem i układem wejściowym w postaci kuli całkującej z dopasowaniem kosinusowym,
- radiometr z sondami szerokopasmowymi.

W pomiarach tych bardzo istotne jest przestrzeganie apertury wejściowej układów pomiarowych oraz dopasowania do wymaganych zakresów widmowych.

[8.] Profilaktyka techniczna i organizacyjna

Pierwszą zasadą ochrony pracowników przed promieniowaniem optycznym jest unikanie ekspozycji na to promieniowanie. Jeśli nie jest to jednak możliwe wówczas ogólna zasada ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją na to promieniowanie stanowi połączenie trzech podstawowych rodzajów działań profilaktycznych [Wolska A, Dybczyński W. *Nielaserowe promieniowanie optyczne*, rozdział 3.8. w *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy*, pod redakcją Prof. D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008, str.: 319-338]:

- ograniczenie czasu ekspozycji
- zapewnienie jak największej odległości pracownika od źródła promieniowania
- osłanianie przed promieniowaniem.

Istnieje hierarchizacja działań ograniczających ryzyko, która przy wyborze środków ograniczających ryzyko powinna być brana pod uwagę:

- Usunięcie zagrożenia
- Zastąpienie przez mniej niebezpieczny proces lub urządzenie
- Środki techniczne
- Środki administracyjne
- Środki ochrony indywidualnej

Środki techniczne polegają na ograniczeniu promieniowania u źródła lub na zastosowaniu 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.

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

Jeśli poziom ekspozycji pracownika nie może być ograniczony poprzez wymienione wcześniej środki techniczne i administracyjne, wówczas należy zastosować środki ochrony indywidualnej.

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.

Wymienione sposoby ograniczania zagrożenia promieniowaniem optycznym nie są działaniami jednorazowymi, niezbędnymi przy uruchamianiu nowych stanowisk pracy. Świadomość istniejącego zagrożenia i jego skutków powinna zmuszać do nieustannej kontroli przestrzegania przez pracowników procedur bezpieczeństwa a w szczególności stosowania odpowiednich ochron (o odpowiednich parametrach ochronnych oraz wygodnych podczas używania – tzn. o ergonomicznej konstrukcji) oraz regularnego sprawdzania stanu technicznego stosowanych ochron [Wolska A, Dybczyński W. *Nielaserowe promieniowanie optyczne*, rozdział 3.8. w *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy*, pod redakcją Prof. D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008, str.: 319-338].

Słowniczek

Poziom promieniowania - jest to wartość parametrów charakteryzujących promieniowanie optyczne jako fizyczny czynnik szkodliwy dla zdrowia w środowisku pracy [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy]

Poziom ekspozycji - jest to poziom promieniowania po uwzględnieniu środków ochrony zbiorowej, zastosowanych w celu ograniczenia ekspozycji pracownika na promieniowanie optyczne [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy]

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.

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 [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001].

$$E = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

Jednostka: $W \cdot m^{-2}$.

Napromienienie (H)

Iloczyn natężenia napromienienia (E) i czasu jego trwania (t)

$$H = E \cdot t$$

Jednostka: $J \cdot m^{-2}$.

Luminancja energetyczna (radiancja) (L_e) (w określonym kierunku i punkcie powierzchni)

Iloraz strumienia energetycznego ($\Delta\Phi_e$) wysłanego 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) [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$L_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta A \cdot \cos\theta \cdot \omega}$$

gdzie:

θ - kąt między normalną do powierzchni a kierunkiem rozchodzenia się wiązki promieniowania.

Jednostka: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-2}$.

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, określone wzorem [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, [Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$E_s = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \cdot X_\lambda \Delta\lambda$$

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, określone wzorem [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$H_s = \sum_{i=1}^n \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \cdot X_\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot t_i$$

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, określona wzorem [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$L_s = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot X_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

gdzie:

L_{λ} – luminancja energetyczna promieniowania o długości fali λ .

Jednostka: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$.

Całkowite natężenie napromienienia (E_c) (natężenie napromienienia nieselektywne)

Natężenie napromienienia promieniowaniem z zakresu długości fal od λ_1 do λ_2 określone wzorem [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$E_c = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

Jednostka: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Całkowite napromienienie (H_c) (napromienienie nieselektywne)

Napromienienie promieniowaniem z zakresu długości fal od λ_1 do λ_2 określone wzorem [PN-E-01005: 1990: *Technika świetlna. Terminologia*, Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]:

$$H_c = \sum_{i=1}^n \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t_i$$

gdzie:

n – liczba ekspozycji

t_i – czas jednorazowej ekspozycji na promieniowanie.

Jednostka: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$.

Czas jednorazowej ekspozycji na promieniowanie

Czas pojedynczej ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie widzialne lub podczerwone, podczas wykonywania określonych czynności

Całkowity czas ekspozycji na promieniowanie

Łączny czas ekspozycji oka lub skóry na promieniowanie optyczne podczas wykonywania określonych czynności, w ciągu całej zmiany roboczej.

Bibliografia

- [1.] 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)
- [2.] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. 1997 nr 129 poz. 844, t.j. Dz.U. 2003 nr 169, poz. 1650, zm: Dz.U. 2007 nr 49 poz. 330, Dz.U. 2008 nr 108, poz. 690, Dz.U. 2011 nr 173, poz. 1034).
- [3.] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bhp przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (Dz.U. 2010 nr 100, poz. 643, zm.: Dz.U. 2012 poz. 787, t.j. Dz.U. 2013 poz. 1619).
- [4.] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286).
- [5.] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166).
- [6.] Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy (Dz.U. 2010 nr 240 poz. 1611, ze zmianami, t.j. Dz.U.2016 poz. 2067).
- [7.] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2004, nr 200 poz. 2047, zm: Dz.U. 2005 nr 136 poz. 1145, Dz.U. nr 107 poz. 724, Dz.U. 2015 poz. 929, t.j. Dz.U. 2-16 poz. 1509).
- [8.] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796).
- [9.] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. 2004 nr 180, poz. 1860, zm: Dz.U. 2005 nr 116 poz. 972, Dz.U. 2007 nr 196 poz. 1420, Dz.U. 2019 poz. 1099).

- [10.] Wolska A. Marzec S., Owczarek G.: *Zasady higienicznej oceny nielaserowego promieniowania optycznego*, CIOP, Warszawa, 2001]. Wolska A. *Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne*, CIOP-PIB, Warszawa, 2010.
- [11.] Wolska A, Dybczyński W. *Nielaserowe promieniowanie optyczne*, rozdział 3.8. w *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy*, pod redakcją Prof. D. Koradeckiej, CIOP-PIB, Warszawa 2008, str.: 319-338
- [12.] Komisja Europejska: *Niewiążący przewodnik dobrej praktyki wdrażania dyrektywy 2006/25/WE (sztuczne promieniowanie optyczne)*,
<http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=6790&langId=pl>
- [13.] Wolska A. *Promieniowanie optyczne w środowisku pracy*. CIOP-PIB, Warszawa, 2013
- [14.] Wolska A. „*Sztuczne promieniowanie optyczne - zasady oceny ryzyka zawodowego. Poradnik*. CIOP—PIB Warszawa, 2013,
http://portal.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P30001831335539182278&html_tresc_root_id=23199&html_tresc_id=300002064&html_klucz=19558&html_klucz_spis=
- [15.] PN-E-01005: 1990: Technika świetlna. Terminologia
- [16.] PN-EN 14255-1: 2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 1: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
- [17.] PN-EN 14255-2: 2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
- [18.] PN-T-06588: 1979. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Promieniowanie nadfioletowe. Nazwy, określenia i jednostki
- [19.] PN-T-06589: 2002. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.
- [20.] PN-T-05687: 2002. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania widzialnego i podczerwonego na stanowiskach pracy.
- [21.] PN-T-06704:2003 Zestawienie maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji dla niekoherentnego (nielaserowego) promieniowania optycznego
- [22.] PN-EN 62471:2010 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych*
- [23.] PN-EN 12198-1+A1: 2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszenie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny: Część 1. Zasady ogólne*
- [24.] PN-EN 12198-2+A1: 2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszenie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny: Część 2. Sposób pomiaru emitowanego promieniowania*

- [25.]PN-EN 12198-3+A1: 2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszenie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny: Część 3. Zmniejszenie promieniowania przez tłumienie lub ekranowanie*
- [26.]PN-EN 165:2007 Ochrona indywidualna oczu. Terminologia.
- [27.]PN-EN 166: 2005. Ochrona indywidualna oczu. Wymagania.
- [28.]PN-EN 169:2005 Filtry spawalnicze i filtry dla technik pokrewnych. Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie
- [29.] PN-EN 170:2005 Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed nadfioletem. Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie
- [30.]PN-EN 171:2005 Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed podczerwienią.
- [31.]PN-EN 1836+A1:2009 Ochrona indywidualna oczu. Okulary i filtry chroniące przed olśnieniem słonecznym, do zastosowań ogólnych (Zmiana A1).
- [32.]PN-EN 172: 2000/A2:2003 Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed olśnieniem słonecznym do zastosowań przemysłowych

PYTANIA SPRAWDZAJĄCE

1. Jakie są podstawowe zakresy promieniowania optycznego?
2. Jakie skutki szkodliwe dla zdrowia może powodować promieniowanie nadfioletowe?
3. Jakie skutki szkodliwe dla zdrowia może powodować promieniowanie widzialne?
4. Jakie skutki szkodliwe dla zdrowia może powodować promieniowanie podczerwone?
5. Jaki przyjmuje się czas ekspozycji (jednorazowy, całkowity) przy ocenie zagrożeń fotochemicznych?
6. Jaki przyjmuje się czas ekspozycji (jednorazowy, całkowity) przy ocenie zagrożeń termicznych?
7. Jakie są podstawowe technologiczne źródła promieniowania optycznego?
8. Jakie są podstawowe metody pomiaru poziomu promieniowania?
9. Jakie akty prawne powinny być uwzględnione w przypadku ekspozycji zawodowej na sztuczne promieniowanie optyczne?
10. Jakie są podstawowe środki ograniczające ryzyko zawodowe związane z promieniowaniem optycznym?