

Metoda oceny kategorii maszyn ze względu na emisję nielaserowego promieniowania optycznego¹

*mgr inż. ANDRZEJ PAWLAK
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa
ul. Czerniakowska 16*

Słowa kluczowe: nielaserowe promieniowanie optyczne, promieniowanie nadfioletowe, widzialne i podczerwone, emisja promieniowania, klasyfikacja maszyn.
Keywords: nonlaser optical radiation, ultraviolet, visible and infrared radiation, emission of radiation, classification of machinery.

Streszczenie

W artykule opisano metodę oceny maszyn emitujących promieniowanie optyczne, która polega na pomiarze parametrów promieniowania nadfioletowego, widzialnego lub podczerwonego określonych w normach PN-EN 12198 Część 1. i 2. Na podstawie wyników tych pomiarów jest wyznaczana kategoria emisji promieniowania określonej maszyny. Wartość kategorii emisji stanowi podstawę do oceny ryzyka pracowników, którzy mogą być zagrożeni tym promie-

niowaniem oraz do określenia rodzajów środków w celu ograniczenia emisji tego promieniowania. Następnie scharakteryzowano wymienione rodzaje promieniowań oraz przedstawiono przykładowe maszyny, w których procesach technologicznych jest ono wykorzystywane. Zaprezentowaną metodę oceny kategorii emisji wykorzystano do oceny trzech przykładowych maszyn, które emitują promieniowanie: nadfioletowe, widzialne oraz podczerwone.

Summary

This article discusses a method of evaluating machines emitting optical radiation, which involves measuring parameters of ultraviolet, visible or infrared light listed in standards PN-EN 12198 Part 1 and 2. The category of radiation of specific machines is determined on the basis of the results of those measurements. The value of emission categories is the basis for assessing the risk of employees exposed to

radiation and for determining the types of measures reducing the emission of radiation. This article characterizes those types of radiation and gives examples of machines with the relevant technological processes. The method of evaluating emission categories is shown in three sample machines that emit ultraviolet, visible and infrared radiation.

¹ Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Zadanie 3.S.05 pt. Opracowanie procedur badania nielaserowego promieniowania optycznego emitowanego przez maszyny.

WPROWADZENIE

Zgodnie z normami PN-EN 12198-1+A1: 2010 i PN-EN 12198-2+A1: 2010 producenci maszyn emitujących promieniowanie optyczne (nadfioletowe, widzialne lub podczerwone) są obowiązani do określania kategorii emisji każdej wyprodukowanej maszyny, ponieważ normy te są zharmonizowane z dyrektywą 2006/42/WE. Jednak na podstawie dokonanego przeglądu nowych maszyn, które nie zostały jeszcze wprowadzone na rynek, w żadnym przypadku w ich danych technicznych nie była podana klasa emisji promieniowania. Jedynie w przypadku tunelu do suszenia producent umieścił lakoniczny zapis stwierdzający możliwość wystąpienia niebezpieczeństwa poparzenia operatora maszyny, a w przypadku automatu do sitodruku producent podał

informację o automatycznym zamykaniu przesłona na suszarkach UV po wykryciu braku drukowanego przedmiotu. Jest to bardzo istotne, ponieważ właśnie przez te szczeliny jest emitowana największa ilość promieniowania nadfioletowego, co znalazło potwierdzenie w wykonanych pomiarach promieniowania nadfioletowego emitowanego przez maszyny przeznaczone dla przemysłu spożywczego czy elektronicznego. Również w licznych wynikach ekspertyz związanych z zagrożeniem pracowników promieniowaniem optycznym na stanowiskach pracy emitowanym przez różne maszyny, nie stwierdzono w żadnym przypadku, zamieszczenia w danych technicznych informacji o kategorii emisji.

PODSTAWY PRAWNE

Fakt potencjalnego zagrożenia oczu i skóry pracowników promieniowaniem optycznym, którego nadmierna ilość wydostaje się poza maszynę, został uwzględniony w dyrektywie 89/655/EWG oraz 2006/25/WE. Z zapisów w nich zawartych wynika konieczność ograniczenia emisji promieniowania emitowanego przez maszyny i jej oceny. W związku z tym, wyprodukowana maszyna powinna być poddana ocenie bezpieczeństwa ze względu na emisję promieniowania optycznego.

W dyrektywie, tzw. maszynowej 2006/42/WE w rozdziale dotyczącym promieniowania (1.5.10) jest zamieszczony następujący zapis: „Niepożądana emisja promieniowania przez maszynę musi zostać wyeliminowana lub ograniczona do takiego poziomu, aby nie miała niekorzystnego wpływu na osoby”. Dalsze zapisy w tej dyrektywie odnoszą się do trzech stanów maszyny – analogicznych z wymienionymi w normach PN-EN 12198+A1: 2010, część 1., i 2.:

- „każda emisja promieniowania jonizującego związana z funkcjonowaniem musi być ograniczona do najniższego poziomu, wystarczającego do właściwego funkcjonowania maszyny podczas ustawiania, działania i czyszczenia. W przypadku występowania ryzyka należy podjąć środki zapobiegawcze”

- „każda emisja promieniowania niejonizującego związana z funkcjonowaniem podczas ustawiania, działania i czyszczenia musi być ograniczona do takiego poziomu, aby nie miała niekorzystnego wpływu na osoby”.

Z przytoczonych zapisów z dyrektywy 2006/42/WE wynika, że wyprodukowana maszyna powinna być również poddana ocenie bezpieczeństwa ze względu na emisję promieniowania optycznego, co zostało określone w zharmonizowanych z dyrektywą maszynową normach PN-EN 12198+A1: 2010 część 1., 2. W związku z tym producenci maszyn emitujących promieniowanie optyczne są obowiązani do określania kategorii emisji maszyn przed wprowadzeniem ich na rynek. Natomiast w przypadku maszyn już użytkowanych ocena kategorii emisji będzie dokonana u klienta.

Charakterystyka norm PN-EN 12198+A1: 2010

W normie PN-EN 12198-1+A1: 2010 „Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny. Część 1.: Zasady ogólne” zawarto wskazania dla producentów dotyczące budowy

bezpiecznych maszyn, jeśli brak jest stosownych norm typu C. Przedstawiono w niej ogólny sposób postępowania producenta maszyny w celu oceny ryzyka związanego z emisją promieniowania emitowanego przez maszynę oraz jego zmniejszenia, np. przez zastosowanie odpowiednich środków tłumiących lub ekranujących. Następnie określono kategorię emisji promieniowania maszyn ze względu na poziomy emitowanego promieniowania nadfioletowego, widzialnego, lub podczerwonego.

W załączniku A zdefiniowano kolejne etapy eksploatacji maszyny, które podlegają ocenie ze względu na kategorię emisji:

- budowa
- transport i przekazanie do eksploatacji (montaż, instalowanie, regulacja)
- użytkowanie (nastawianie, uczenie/programowanie lub zmiana procesu, działanie, czyszczenie, wykrywanie defektów, konserwacja i naprawy)
- wycofanie z eksploatacji, demontaż.

W załączniku B podano warunki pomiarowe, podstawowe cechy detektorów pomiarowych oraz zależności między poziomem emitowanego ro-

dzaju promieniowania a kategorią maszyny. W normie tej określono również wymagania dotyczące środków ochronnych stosowanych w celu eliminacji lub zmniejszenia ryzyka związanego z emisją promieniowania, a w załączniku C podano przykłady środków stosowanych do eliminacji lub zmniejszenia ekspozycji na promieniowanie.

W normie PN-EN 12198-2+A1:2010 „Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny. Część 2.: Sposób pomiaru emitowanego promieniowania” określono sposób pomiaru wielkości związanych z promieniowaniem emitowanym przez maszyny. Podano wymagania dotyczące ustalania punktów pomiarowych oraz czasu trwania pomiarów. W załączniku A.2. podano techniki pomiarów różnego rodzaju promieniowania.

W normie PN-EN 12198-3+A1:2010 „Bezpieczeństwo maszyn. Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny. Część 3.: Zmniejszenie promieniowania przez tłumienie lub ekranowanie” opisano sposoby umożliwiające producentom maszyn zaprojektowanie i wykonanie skutecznych technicznych środków ochrony przed promieniowaniem optycznym oraz strategię projektowania ekranu.

METODA OKREŚLANIA KATEGORII EMISJI MASZYN

Ocena ryzyka maszyn powinna obejmować wszystkie możliwe do przewidzenia ekspozycje osób na promieniowanie emitowane przez maszynę, występujące na dowolnym etapie jej eksploatacji. Określenie kategorii emisji promieniowania wykonuje się w odniesieniu do poszczególnych etapów eksploatacji maszyny: obsługi, nastawiania i czyszczenia (konserwacji). Za ogólną kategorię maszyny przyjmuje się kategorię o największym numerze z kategorii określonych dla

emisji promieniowania w poszczególnych etapach podczas jej użytkowania. Zgodnie z tabelą 1. występują trzy kategorie emisji promieniowania. Natomiast zależności między wyznaczonymi dla maszyny, określonymi w dalszej części tego rozdziału, parametrami promieniowania nadfioletowego, widzialnego lub podczerwonego a kategorią emisji promieniowania maszyny, przedstawiono odpowiednio w tabelach: 3., 4. i 5.

Tabela 1.

Klasyfikacja maszyn ze względu na poziom emisji promieniowania (PN-EN 12198-1+A1:2010)

Kategoria	Ograniczenia i środki ochronne	Informowanie i szkolenia
0	brak ograniczenia	nie ma potrzeby informowania
1.	ograniczenia: ograniczenia dostępu, mogą być potrzebne środki ochronne	informowanie o zagrożeniu, ryzyku i skutkach wtórnych
2.	niezbędne specjalne ograniczenia i środki ochronne.	informowanie o zagrożeniu, ryzyku i skutkach wtórnych: może być potrzebne szkolenie

Zgodnie z zapisem zawartym w normach PN-EN 12198-1+A1:2010 i PN-EN 12198-2+A1:2010 pomiary odpowiednich parametrów wyemitowane-

go promieniowania: nadfioletowego, widzialnego czy podczerwonego, należy zawsze wykonywać w odległości 0,1 m od powierzchni dostępu maszyny

w kierunku maksymalnej intensywności tego promieniowania. W przypadku gdy w obudowie maszyny są otwory, do których operator może wprowadzić część swojego ciała, to pomiar należy wykonać wewnątrz obszaru, do którego może dosięgnąć. Jeśli operatorzy muszą zaglądać do wnętrza obudowy przez np. okna, to pomiary należy wykonać w punktach odpowiadających położeniu oka.

Dodatkowo należy wykonać pomiary w miejscach, w których może wydostawać się promieniowanie (np. na skutek przechodzenia przez szczeliny w obudowie czy połączeniu ścianek) oraz wewnątrz obudów zdejmowanych w celu konserwacji i otworów wykorzystywanych podczas obsługi i napraw. Wszystkie punkty pomiarowe powinny być tak określone, aby były jednoznacznie rozpoznawane.

MASZYNY EMITUJĄCE PROMIENIOWANIE NADFIOLETOWE

Charakterystyka promienników nadfioletu

Działanie tego promieniowania ma charakter fotochemiczny, a jego skutek biologiczny zależy od: ilości pochłoniętego promieniowania, długości fali i rodzaju ekspozowanej tkanki. Ilość pochłoniętego przez tkankę promieniowania jest zależna od jej napromienienia oraz współczynników odbicia i przepuszczania napromieniowywanej tkanki. Promieniowanie nadfioletowe może spowodować zarówno korzystne, jak i szkodliwe skutki dla organizmu człowieka.

Promieniowanie nadfioletowe charakteryzuje się największą energią spośród omawianych w tej pracy rodzajów promieniowań, ponieważ energia fotonów wynosi $3,3 \div 125$ eV. Z tego powodu promienniki nadfioletu są idealnym źródłem energii wykorzystywanym w wielu procesach: fizycznych, chemicznych i biochemicznych, w których wykorzystuje się transfer energii na poziomie atomowym i molekularnym. W praktyce wiele procesów chemicznych jest wspomaganych z powodzeniem promieniowaniem w zakresie światła widzialnego.

Obecnie jako sztuczne źródła promieniowania nadfioletowego wykorzystuje się lampy wyładowcze. Elementami, które mają wpływ na uzyskanie odpowiedniej charakterystyki widmowej promien-

nika, jest zarówno skład, jak i ciśnienie gazów wypełniających jarznik, a także materiał, z którego jest wykonany promiennik czy zastosowany luminofor. Wśród promienników nadfioletu wyróżnia się trzy podstawowe grupy:

- niskoprężne promienniki rtęciowe bez luminofora lub z luminoforem
- wysokoprężne promienniki rtęciowe o krótkim bądź długim łuku
- promienniki metalohalogenkowe.

Zastosowanie promienników nadfioletu jest wszechstronne i obejmuje wiele gałęzi przemysłu, w tym głównie: spożywczy, elektroniczny, farmaceutyczny, kosmetyczny, tworzyw sztucznych i przetwórczy. Znajdują także zastosowanie w: przedsiębiorstwach wodociągowych, browarach, szpitalach, stacjach dializ i basenach oraz w życiu codziennym. W tabeli 2. zestawiono podstawowe grupy zastosowań promieniowania nadfioletowego. Wiele z wymienionych w tabeli 2. zastosowań promieniowania nadfioletowego wykorzystuje się jako jeden z kilku procesów podczas całego cyklu pracy różnego rodzaju maszyn.

Tabela 2.

Podstawowe grupy zastosowań promieniowania nadfioletowego (program wieloletni: 2008-2010)

Grupa	Zastosowanie
Procesy fizyczne: – elektrostatyka – fotoluminescencja Procesy chemiczne: – objętościowe – powierzchniowe – poligrafia i fotografia Procesy biologiczne: – zabijanie mikroorganizmów i insektów – fototerapia i kosmetyka	fotokopowanie detekcja, analiza, efekty świetlne produkcja środków chemicznych suszenie i utwardzanie powłok (polimeryzacja) fotokopowanie, rytowanie płytek drukowanych, litografia dezynfekcja, oczyszczanie wody, pułapki na owady leczenie chorób skóry, sztuczne opalanie się

Przykładowymi urządzeniami, które podczas swojej pracy emitują promieniowania nadfioletowe, są:

- automaty do pakowania artykułów mleczarskich do plastikowych opakowań jednorazowych. W automatach tego typu są stosowane promienniki (światłówki) UV-C (o mocach od 15 do 55 W), które służą do dezynfekcji opakowań, aluminiowych zamknięć oraz do dezynfekcji całego automatu
- kopiorama B2 UV – klisze są naświetlane najczęściej za pomocą od kilku do kilkunastu światłówek UV-A o łącznej mocy rzędu 200 W
- tunel UV przeznaczony do utwardzania farb i lakierów
- półautomaty – automaty do sitodruku
- ploter tablicowy UV.

W trzech urządzeniach: tunelu UV przeznaczonego do utwardzania farb i lakierów, półautomatów do sitodruku oraz ploterach tablicowych

UV wykorzystuje się jedną lub więcej wysokoprężnych lamp rtęciowych UV o mocach rzędu 7 czy nawet 12 kW, których maksimum promieniowania wynosi w przypadku długości fali 366 nm.

Sposób wyznaczania kategorii emisji maszyn emitujących promieniowanie nadfioletowe

Emisja promieniowania nadfioletowego jest oceniana na podstawie pomiarów skutecznego natężenia napromienienia E_{eff} lub widmowego natężenia napromienienia E_{λ} . Czas uśredniania pomiaru powinien wynosić 8 h z możliwością jego skrócenia w przypadku występowania takich samych wyników. Krzywa względnej skuteczności widmowej promieniowania nadfioletowego $S(\lambda)$ jest określona w załączniku B normy PN-EN 12198-1+A1:2010. Zależność między skutecznym natężeniem napromienienia promieniowaniem nadfioletowym a kategorią emisji promieniowania maszyny przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3.

Zależność między skutecznym natężeniem napromienienia promieniowaniem nadfioletowym a kategorią emisji promieniowania maszyny (PN-EN 12198-1+A1:2010)

$E_{eff}(180 \text{ nm} \div 400 \text{ nm}),$ W/m^2	Kategoria emisji promieniowania
$E_{eff} \leq 0,1 \cdot 10^{-3}$	0
$0,1 \cdot 10^{-3} < E_{eff} \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$	1
$E_{eff} > 1,0 \cdot 10^{-3}$	2

MASZYNY EMITUJĄCE PROMIENIOWANIE WIDZIALNE

Charakterystyka promieniowania widzialnego

Promieniowanie widzialne jest to promieniowanie elektromagnetyczne o długości 380 ÷ 780 nm. Najlepiej widzimy w środku zakresu dla barwy żółtozielonej (długość około 550 nm), a najgorzej na jego końcach. Intensywne promieniowanie widzialne, zwłaszcza z zakresu 400 ÷ 500 nm (tzw. światło niebieskie), może powodować termiczne lub fotochemiczne uszkodzenia i schorzenia siatkówki oka (program wieloletni: 2008-2010). Ocenę zagrożenia termicznego siatkówki wykonuje się w przypadkach, gdy luminancja świetlna źródła przekracza $10\,000 \text{ cd/m}^2$. Stwierdzono, że ekspozycje

krótsze niż 10 s powodują głównie uszkodzenia termiczne siatkówki, natomiast dłuższe – uszkodzenia fotochemiczne (program wieloletni: 2008-2010). Promieniowanie z tego zakresu długości fal występuje podczas spawania oraz jest emitowane przez promienniki elektryczne, np. lampy do naświetlania warstw światłoczułych.

Najczęściej spotykanymi sztucznymi źródłami nielaserowego promieniowania widzialnego (światła) są takie źródła elektryczne, jak: żarówki, żarówki halogenowe, lampy wyładowcze niskoprężne – światłówki klasyczne i kompaktowe oraz lampy wysokoprężne – rtęciowe i sodowe. Żarówki są źródłami światła wytwarzanego przez żarnik (druć wolframowy) rozgrzany wskutek przepływu

przez niego prądu elektrycznego do stanu żarzenia. Zalicza się je do grupy źródeł termicznych. Druga grupa to źródła luminescencyjne, znacznie bardziej efektywne niż źródła termiczne. Najczęściej spotykanymi źródłami luminescencyjnymi są:

- lampy rtęciowe niskoprężne (światłówki)
- lampy rtęciowe wysokoprężne.

W światłówkach światło jest wytwarzane przez luminofor wzbudzony nadfioletowym promieniowaniem wyładowania w parach rtęci o niskim ciśnieniu. Natomiast w lampach rtęciowych światło jest głównie wytwarzane ze wzbudzenia atomów rtęci, przy odpowiednio wysokim ciśnieniu pary rtęci (Bąk, Skonieczna 2005).

Promieniowanie widzialne jest także emitowane w trakcie niektórych procesów technologicznych, np.: spawania łukowego (np. łukiem elektrycznym lub plazmowym) czy cięcia łukiem plazmowym.

Przykładowymi urządzeniami, które podczas swojej pracy emitują promieniowania widzialne, są:

- kopiorama – źródła światła o mocach: 0,5; 1,2; 3; 5 czy 8 kW
- kserokopiarki i maszyny kopiująco-drukujące stosowane w poligrafii
- maszyny do szycia stosowane w przemyśle włókienniczym.

Najbardziej niebezpieczne dla siatkówki oka promieniowanie niebieskie jest emitowane podczas niektórych procesów technologicznych – zwłaszcza spawania. Źródłem tego promieniowania są także elektryczne źródła światła czy promienniki stosowane, np. do kontroli wzrokowej czy naświetlania warstw światłoczułych.

Sposób wyznaczania kategorii emisji maszyn emitujących promieniowanie widzialne

Zgodnie z zapisem zawartym w normie PN-EN

12198-1+A1:2010, przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów parametrów promieniowania widzialnego należy wyznaczyć kąt widzenia źródła promieniowania α , a następnie wybrać rodzaj wykonywanych pomiarów. W przypadku, gdy kąt $\alpha \geq 0,011$ rad należy wykonać pomiary skutecznej luminancji energetycznej L_{eff} , a gdy $\alpha < 0,011$ rad, należy wykonać pomiary skutecznego natężenia napromienienia E_{eff} .

Kąt widzenia źródła promieniowania α należy wyznaczyć z punktu pomiarowego w kierunku powierzchni świecącej źródła z zależności:

$$\alpha = 2 \arctg l / 2r,$$

gdzie:

- l – długość lub największy wymiar liniowy źródła promieniowania, w metrach,
- r – odległość punktu pomiarowego do źródła promieniowania widzialnego, w metrach:
 - zamontowanego wewnątrz maszyny – z uwzględnieniem odległości 0,1 m między sondą pomiarową a powierzchnią dostępu)
 - do szczeliny w nieprzezroczystej obudowie – wówczas szczelina jest traktowana jako źródło promieniowania, a $r = 0,1$ m.

Krzywa względnej skuteczności widmowej $S(\lambda)$ dla długości fal z zakresu 400 ÷ 700 nm jest określona w załączniku B normy PN-EN 12198-1+A1:2010. Czas uśredniania pomiaru powinien wynosić 8 h z możliwością jego skrócenia w przypadku występowania takich samych wyników.

Zależność między skutecznym natężeniem napromienienia lub skuteczną luminancją napromienienia promieniowaniem widzialnym a kategorią emisji promieniowania maszyny przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4.

Zależność między skutecznym natężeniem napromienienia lub skuteczną luminancją energetyczną promieniowania widzialnego a kategorią emisji promieniowania maszyny (PN-EN 12198-1+A1:2010)

$E_{eff}(400 \text{ nm} \div 700 \text{ nm}),$ W/m ²	$L_{eff}(400 \text{ nm} \div 700 \text{ nm}),$ W/m ² sr ⁻¹	Kategoria emisji promieniowania
$E_{eff} \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$	≤ 10	0
$1,0 \cdot 10^{-3} < E_{eff} \leq 10 \cdot 10^{-3}$	≤ 100	1
$E_{eff} > 10 \cdot 10^{-3}$	> 100	2

MASZYNY EMITUJĄCE PROMIENIOWANIE PODCZERWONE

Charakterystyka promienników podczerwieni

Promieniowanie podczerwone (cieplne) występuje na wielu gorących stanowiskach pracy, często jako skutek uboczny procesów technologicznych, między innymi w: hutnictwie, przemyśle metalowym, poligraficznym. Sztucznymi źródłami promieniowania podczerwonego są np.: urządzenia do ogrzewania, procesy technologiczne stosowane w przemyśle, hutnictwie, wysokoprężne lampy rtęciowe, lampy lukowe, żarowe, silniki samolotów odrzutowych oraz wszelkie ciała ogrzane do względnie wysokiej temperatury.

Długość promieniowania podczerwonego zależy od temperatury ciał emitujących to promieniowanie – przy temperaturze 100 °C przeważa promieniowanie o długości 3 000 ÷ 5 000 nm, czyli promieniowanie IR-B i C, a przy temperaturze 500 °C promienie o długości 800 ÷ 1 500 nm, czyli podczerwień A.

Promieniowanie podczerwone może wywoływać wzrost temperatury tkanki, w wyniku czego powstaje rumień ciepły. Przy długotrwałym narażeniu i dużym natężeniu napromienienia może następować przegrzanie organizmu lub oparzenia. Zdolność przenikania fal w głąb tkanek zależy od ich długości. Największą zdolnością wnikania w skórę charakteryzuje się podczerwień bliska IR-A. Promieniowanie to dociera do najgłębiej położonych warstw tkanki skórnej, a nawet podskórnej, przez które zostaje pochłonięte, nagrzewając je. Obszary te są dobrze chłodzone przez przepływającą przez nie krew, która odprowadza nadmiar ciepła do wnętrza organizmu. W związku z tym przyrost temperatury tkanki jest wolniejszy, a odczucie parzenia występuje później. Jednak przy większych poziomach natężenia napromienienia może to prowadzić do przegrzania organizmu. Z tego powodu promieniowanie IR-A jest bardziej niebezpieczne niż promieniowanie długofalowe (IR-C), które prawie całkowicie zostaje pochłonięte w zewnętrznej, nieukrwionej warstwie naskórka. Promieniowanie IR-C rzadziej jest przyczyną przegrzania, natomiast łatwiej może spowodować oparzenia skóry. Stwierdzono, że promieniowanie IR-A o natężeniu napromienienia 2 000 W/m² może

doprowadzić do oparzenia skóry, natomiast ten sam skutek w przypadku promieniowania IR-C pojawia się przy natężeniu 1 000 W/m² (program wieloletni: 2008÷2010).

Działanie promieniowania podczerwonego na organizm może mieć charakter ogólny lub miejscowy. Działanie ogólne to:

- podniesienie temperatury ciała
- przejściowe obniżenie ciśnienia krwi, odwodnienie i zaburzenie równowagi mineralnej
- zmniejszenie wagi ciała.

Działanie miejscowe objawia się:

- rozszerzeniem naczyń krwionośnych
- przekrwieniem
- podniesieniem temperatury
- zmniejszeniem napięcia mięśni
- wzrostem wydzielania potu
- występowaniem oparzeń.

Narażenie na promieniowanie podczerwone w warunkach dużej wilgotności i temperatury prowadzi do wyczerpania i udaru cieplnego. Natomiast długotrwałe narażenie na promieniowanie podczerwone powoduje zmiany skórne – zaczerwienienia i oparzenia. Rumień ciepły powstający w wyniku przekrwienia, w miarę zwiększania się czasu narażenia i natężenia napromienienia, staje się bardziej wyraźny i rozległy. Występuje uczucie ciepła, potem pieczenia, aż do uczucia bólu. Wystąpienie pęcherzy na skórze wskazuje na oparzenie II stopnia, a wysokie natężenia promieniowania podczerwonego mogą dawać zmiany oparzeniowe III stopnia (pęcherze, martwica).

Receptory ciepła znajdujące się w skórze dostatecznie wcześnie sygnalizują nadmierny wzrost temperatury i w normalnych warunkach nie występują oparzenia skóry promieniowaniem podczerwonym. Znacznie bardziej zagrożona jest gałka oczna, która nie ma receptorów ciepła. Narażenie na duże i /lub długotrwałe natężenie napromienienia wywołuje:

- stany zapalne oka (uszkodzenie rogówki, spojówki)
- termiczne uszkodzenie siatkówki
- zaćmę (najczęściej występuje ona u osoby zatrudnionej przy wytopie i dmuchaniu szkła).

Na największe natężenia napromienienia promieniowaniem podczerwonym są narażeni: hutnicy, spawacze i palacze w kotłowniach.

Przykładowymi urządzeniami, które podczas swojej pracy emitują promieniowanie podczerwone, są:

- suszarnie offsetowe – wykorzystują krótkofalowe promieniowanie podczerwone w połączeniu z cyrkulacją gorącego i zimnego powietrza
- automaty szklarskie w hutach szkła gospodarczego – temperatura masy szklanej 550 ÷ 600 °C
- urządzenia do suszenia wydruków wielkoformatowych – moce zainstalowanych promienników ponad 2 kW

- urządzenia do suszenia drewna – temperatura 200 °C.

Sposób wyznaczania kategorii emisji maszyn emitujących promieniowanie podczerwone

W przypadku promieniowania podczerwonego należy wyznaczyć natężenie napromienienia (E) bez stosowania widmowego ważenia. Czas uśredniania pomiaru powinien wynosić 10 s. Zależność między natężeniem napromienienia promieniowaniem podczerwonym a kategorią emisji promieniowania maszyny przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5.

Zależność między natężeniem napromienienia promieniowaniem podczerwonym a kategorią emisji promieniowania maszyny (PN-EN 12198-1+A1: 2010)

E (700 nm ÷ 1 mm), W/m ²	Kategoria emisji promieniowania
$E \leq 33$	0
$33 < E \leq 100$	1
$E > 100$	2

OCENA KATEGORII EMISJI MASZYN

Ocenę kategorii emisji omówiono na przykładzie następujących maszyn: automatu stosowanego w przemyśle spożywczym, automatu szklarskiego oraz maszyny kopiująco-drukującej.

Automat stosowany w przemyśle spożywczym

Obiektem badań był automat typ 100 przeznaczony dla przemysłu spożywczego. W automacie tym zainstalowane są 2 promienniki (światłówki) UV-C (produkcji firmy Philips) o mocy 30 W każda, które stanowią źródło potencjalnego zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem nadfioletowym (rys. 1.).

Automat ze wszystkich stron jest osłonięty obudową składającą się z ekranów wykonanych z przezroczystego poliwęglanu. Pomędzy ekranami występują dość duże szczeliny, przez które swobodnie przechodzi promieniowanie UV na zewnątrz automatu. Promieniowanie to stanowi potencjalne zagrożenie zarówno dla pracowników obsługujących ten automat (stałe stanowiska pracy), jak i osób przechodzących obok automatu, gdyż znajduje się tu strefa komunikacyjna. Na rysunkach 2. i 3. pokazano widok automatu od strony przedniej oraz tylnej².

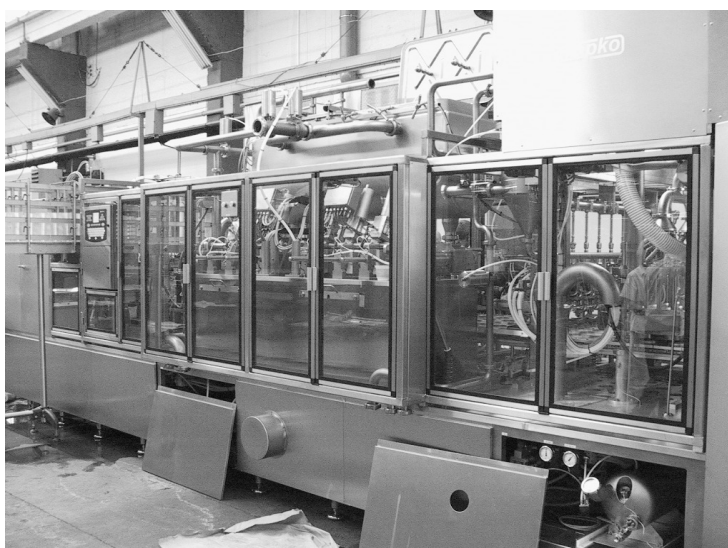
² Wszystkie zamieszczone w artykule zdjęcia są wykonane przez autora artykułu.



Rys. 1. Widok fragmentu automatu serii 100 z włączonymi promiennikami UV-C



Rys. 2. Widok automatu typ 100 od przodu



Rys. 3. Widok znacznej części automatu typ 100 od tyłu

Metoda pomiaru natężenia napromienienia promieniowania nadfioletowego emitowanego przez maszynę

Pomiary skutecznego natężenia napromienienia wykonano zgodnie z procedurą zawartą w normach PN-EN 12198-1+A1:2010 oraz PN-EN 12198-2+A1:2010 z wykorzystaniem radiometru typ ILT 1800, wyposażonego w detektor skorygowany do względnej skuteczności biologicznej promieniowania nadfioletowego $S(\lambda)$ – SED 240/ACT5 (ocena zagrożenia oczu i skóry promieniowaniem UV). Pomiary wykonano wokół całego automatu, w odległości 0,1 m od obudowy automatu (zgodnie z zapisem w normie PN-EN

12198-1+A1:2010) ze szczególnym uwzględnieniem obszarów, w których mogą znajdować się pracownicy. Punkty pomiarowe znajdowały się w miejscach, gdzie występowały otwory lub szpary w obudowie wykonanej z poliwęglanu. Pomiary wykonano dla trybu normalnej pracy automatu.

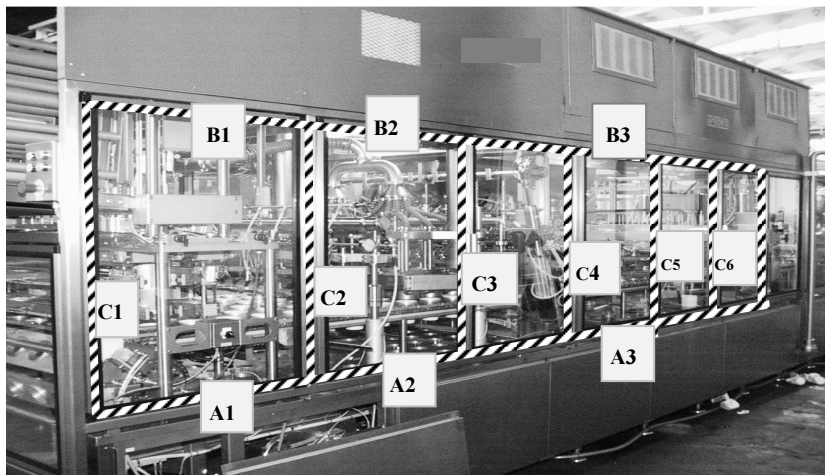
Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym

W tabeli 6., 7., 8. i 9. przedstawiono wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia w odległości 0,1 m od szczelin pomiędzy częściami ekranu ochronnego występującego podczas normalnej pracy automatu.

Tabela 6.

Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia z przodu automatu
(program wieloletni: 2008-2010)

Linia pomiaru (szczelina), (rys. 4.)	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
A1	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
A2	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
A3	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
B1	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
B2	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
B3	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C1	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C2	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C3	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C4	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C5	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C6	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0



Rys. 4. Widok automatu typ 100 (lewa część) od przodu

Tabela 7.

Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia z przodu automatu
(program wieloletni: 2008-2010)

Linia pomiaru (szczelina), (rys. 5.)	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
A4	$0,33 \cdot 10^{-3}$	1
B4	$0,03 \cdot 10^{-3}$	0
C6	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C7	$0,13 \cdot 10^{-3}$	1
C8*	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0
C8	$0,07 \cdot 10^{-3}$	0
okienko	$2,58 \cdot 10^{-3}$	2

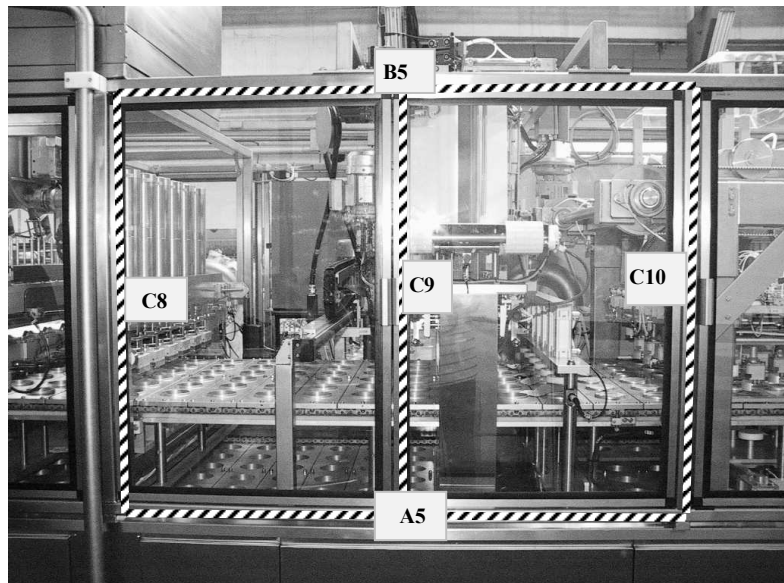


Rys. 5. Widok fragmentu automatu typ 100 od przodu

Tabela 8.

Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia z przodu automatu
(program wieloletni: 2008-2010)

Linia pomiaru (szczelina), (rys. 6.)	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
A5	$0,08 \cdot 10^{-3}$	0
B5	$0,04 \cdot 10^{-3}$	0
C8	$0,07 \cdot 10^{-3}$	0
C9	$0,05 \cdot 10^{-3}$	0
C10	$0,04 \cdot 10^{-3}$	0

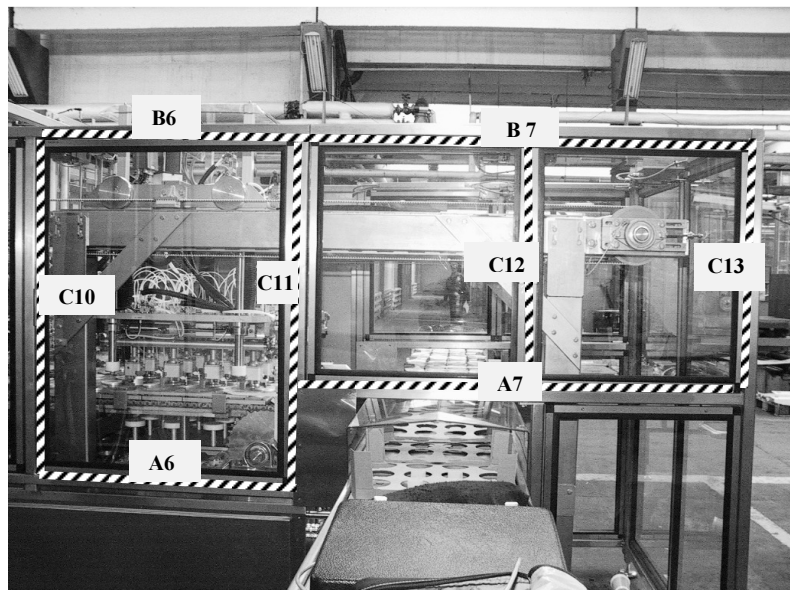


Rys. 6. Widok fragmentu automatu typ 100 (środkowa część) od przodu (fot. autor)

Tabela 9.

Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia z przodu automatu
(program wieloletni: 2008-2010)

Linia pomiaru (szczelina), (rys. 7.)	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
A6	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
A7	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
B6	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
B7	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0
C10	$0,04 \cdot 10^{-3}$	0
C11	$0,05 \cdot 10^{-3}$	0
C12	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0



Rys. 7. Widok automatu typ 100 (prawa część) od przodu

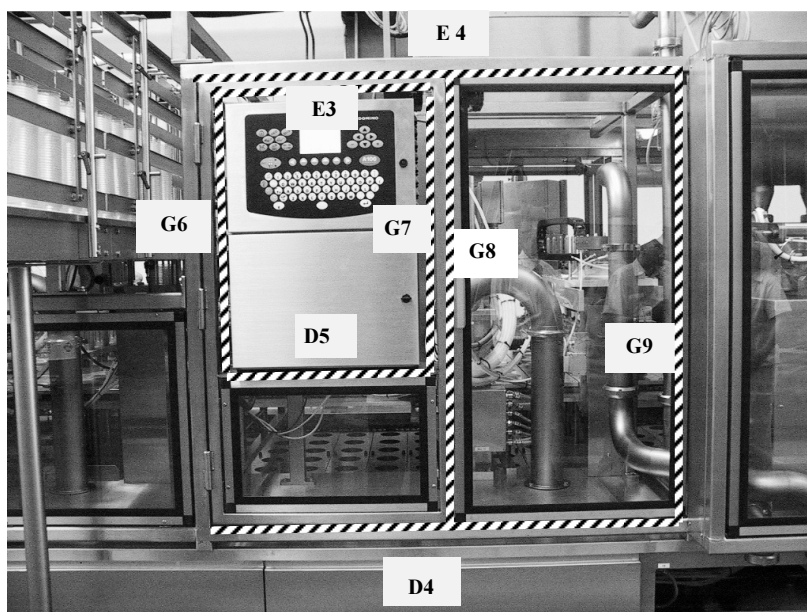
Pomiary skutecznego natężenia napromienienia tylnej strony automatu wykonano w analogiczny sposób jak z przodu automatu. Ponieważ większość wyników pomiarów wskazuje na ze-

rową kategorię emisji, przedstawiono wyniki pomiarów tylko jednego fragmentu automatu, gdzie wystąpiły największe wartości kategorii emisji.

Tabela 7.

Wyniki pomiarów skutecznego natężenia napromienienia z tyłu automatu
(program wieloletni: 2008-2010)

Linia pomiaru (szczelina), (rys. 8.)	Skuteczne natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
D4	$0,2 \cdot 10^{-3}$	1
D5	$8,4 \cdot 10^{-3}$	2
E3	$0,11 \cdot 10^{-3}$	1
E4	$0,02 \cdot 10^{-3}$	0
G6	$0,08 \cdot 10^{-3}$	0
G7	$3,26 \cdot 10^{-3}$	2
G8	$0,49 \cdot 10^{-3}$	1
G9	$0,02 \cdot 10^{-3}$	0



Rys. 8. Widok fragmentu automatu typ 100 od tyłu

Wnioski z badań przeprowadzonych na automacie stosowanym w przemyśle spożywczym

1. Badany automat typ 100 zakwalifikowano do 2. kategorii emisji promieniowania ze względu na emitowane przez niego promieniowanie nadfioletowe.
2. W związku z określoną kategorią emisji promieniowania badanego automatu producent jest zobowiązany do umieszczenia na nim odpowiedniego oznakowania oraz przedłożenia klientowi informacji o ryzyku wynikającym z emitowanego przez automat promieniowania.
3. Wyznaczona druga kategoria emisji promieniowania nadfioletowego jest jednoznaczna z koniecznością stosowania specjalnych ograniczeń i środków ochronnych oraz informowania/szkolenia pracowników o zagrożeniach.
4. Wskazane jest podjęcie przez producenta działań w celu wyeliminowania lub zmniejszenia emisji promieniowania nadfioletowego na zewnątrz automatu, w wyniku bezpośredniego promieniowania oraz wielokrotnych odbić promieniowania wewnątrz automatu, które przedostaje się na zewnątrz automatu przez otwory w ekranach i szpary

między ekranami ochronnymi. Pozwoliłoby to na sklasyfikowanie tego automatu do niższej kategorii emisji promieniowania.

5. W celu sklasyfikowania automatu typ 100 do niższej kategorii emisji promieniowania proponuje się:
 - znaczne ograniczenie szerokości szczelin między ekranami ochronnymi (zwłaszcza w miejscach zaznaczonych na rysunkach jako: A4, C7, C8', D4, D5, E2, E3, G7, G8)
 - przesłonięcie otworu okienka z przodu automatu, np. specjalną folią z poliwęglanu.

W rezultacie przeprowadzonych badań maszyn, producent automatu spożywczego zamontował dodatkowe ekrany, które przesłoniły istniejące szczeliny w obudowie. Zabieg ten spowodował, że automat uzyskał 1. kategorię ze względu na emisję promieniowania nadfioletowego zarówno podczas dezynfekcji, jak i normalnej pracy. W związku z tym pracownicy nie muszą już stosować ochron osobistych twarzy i rąk, gdyż maksymalny czas pracy bez ochron osobistych jest większy od 8 h.

Automat szklarski

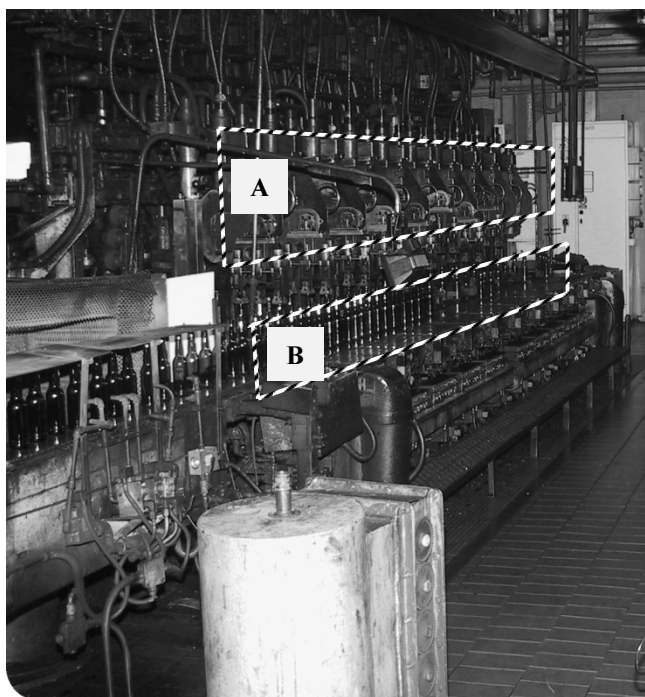
Obiektem badań był automat szklarski typ 4D zainstalowany w hucie szkła gospodarczego. W czasie wykonywania badań na automacie szklarskim były produkowane butelki ze szkła oranżowego o wysokości 0,27 m i maksymalnej średnicy 0,07 m. Automat ten składał się z 10 sekcji – w każdej formowane były trzy butelki, każda z „kropli” masy szklanej o temperaturze 600 °C.

Metoda pomiaru natężenia napromienienia promieniowania podczerwonego emitowanego przez maszynę

Pomiary natężenia napromienienia promieniowania podczerwonego wykonano zgodnie z wy-

maganiem określonymi w normach PN-EN 12198-1+A1: 2010 oraz PN-EN 12198-2+A2: 2010 i z wykorzystaniem radiometru typ ILT 1700 wyposażonego w nieselektywny detektor przeznaczony do oceny zagrożenia rogówki i soczewki oczu w zakresie fal 380 ÷ 3 000 nm (SED 623/SCS780/W).

Ze względu na brak osłon w automacie, pomiary wykonano w odległości około 0,1 m od form do butelek – obszar A oraz gotowych butelek – obszar B (rys. 9.).



Rys. 9. Widok automatu szklarskiego typ 4D od frontu

Wyniki pomiarów natężenia napromienienia promieniowaniem podczerwonym

W tabeli 8. przedstawiono wyniki pomiarów natężenia napromienienia w odległości 0,1 m od automatu występującego podczas jego normalnej pracy (obsługi).

Tabela 8.

Wyniki pomiarów natężenia napromienienia w wybranych miejscach z frontu automatu podczas jego normalnej pracy (obsługi), (program wieloletni: 2008-2010)

Miejsce pomiaru (rys. 9.)	Natężenie napromienienia, W/m ²	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
obszar A	125	2
obszar B	84	1

Wnioski z badań

1. Badany automat szklarski typ 4D zakwalifikowano do 2. kategorii emisji promieniowania podczerwonego, w związku z czym pracodawca jest zobowiązany do umieszczenia na automacie odpowiedniego oznakowania oraz poinformowania pracowników o ryzyku wynikającym z emitowanego przez automat promieniowania. Wyznaczona kategoria emisji jest równoznaczna z koniecznością stosowania specjalnych ograniczeń i środków ochronnych oraz informowania/szkolenia pracowników o zagrożeniach.
2. Wskazane jest podjęcie przez pracodawcę działań w celu wyeliminowania lub zmniejszenia emisji promieniowania podczerwonego przez badany automat. Pozwoliłoby to na sklasyfikowanie go do niższej kategorii emisji. Możliwe to jest przez przesłonięcie automatu od strony frontowej przezroczystymi osłonami odpornymi na wysoka temperaturę.

Maszyna kopiująco-drukująca

Obiektem badań była maszyna kopiująco-drukująca typ CPS 700 produkcji firmy OCE zainstalowana w zakładzie poligraficznym. Ogólny widok maszyny pokazano na rysunku 10. W kopiarce zastosowano jedną lampę fluorescencyjną z zimną katodą. Maszyna ta umożliwia jednoprzebiegowy pełnokolorowy druk cyfrowy przez nałożenie siedmiu kolorów na drukowanym materiale. Przeznaczona jest ona do kolorowego druku materiałów przesłanych drogą elektroniczną oraz skanowanych. Maszyna jest przystosowana do kopiowania dokumentów zapisanych na pojedynczych kartkach formatu A4 lub A3. Możliwe jest również kopiowanie oprawionych broszur lub książek, jednak wówczas przykrywa dociskająca materiał kopiowany jest uniesiona do pozycji wymuszonej przez jej układ dociskowy. W związku z tym, pomiary emisji promieniowania widzialnego wykonano w warunkach największej emisji tego promieniowania podczas użytkowania maszyny zgodnie z jej przeznaczeniem, tj. podczas kopiowania z uniesioną przykrywą.



Rys. 10. Widok maszyny kopiująco-drukującej typ CPS 700 produkcji firmy OCE

Metoda pomiaru parametrów promieniowania widzialnego

Przed przystąpieniem do oceny kategorii emisji promieniowania widzialnego przez badane urządzenie należało określić kąt widzenia źródła promieniowania α . W tym przypadku źródłem promieniowania są dwie szczeliny:



Rys. 11. Widok maszyny kopiująco-drukującej od frontu z zaznaczonym obszarem pomiarowym

- ze strony frontowej o długości 0,43 m (rys. 11.)
- z lewej strony o długości 0,34 m (rys. 12.).

Wysokość szczeliny frontowej wynosiła 0,155 m, a bocznej – 0,04 ÷ 0,13 m ze względu na uniesienie przykrywy.



Rys. 12. Widok maszyny kopiująco-drukującej z lewej strony (patrząc od frontu) z zaznaczonym obszarem pomiarowym

Następnie wyznaczono kąt widzenia źródła promieniowania α . Źródło skanujące widziane od frontu miało wymiar $l_1 = 0,01$ m, a widziane z lewej wymiar $l_2 = 0,34$ m. W obu przypadkach odległość punktu pomiarowego do źródła promieniowania widzialnego wynosi $r = 0,1$ m. Po podstawieniu odpowiednich danych do wzoru:

$$\alpha = 2 \arctg l / 2r$$

wyznaczono wartości kąta $\alpha_1 = 0,0999$ rad oraz kąta $\alpha_2 = 2,078$ rad.

Ponieważ w obu przypadkach uzyskano wartości kąta α większe od 0,011 rad wykonano pomiary skutecznej luminancji energetycznej zgodnie z wymaganiami zawartymi normach PN-EN 12198-1+A1: 2010 oraz PN-EN 12198-2+A1: 2010 z

wykorzystaniem radiometru typ ILT 1700, wyposażonego w detektor SED 033/SCS 395/TBLU/R. Pomiary wykonano z dwóch stron maszyny kopiująco-drukującej w odległości 0,1 m od jej obudowy. Pomiary wykonano podczas normalnej pracy maszyny.

Wyniki pomiarów skutecznej luminancji energetycznej promieniowania widzialnego

W tabeli 9. przedstawiono wyniki pomiarów skutecznej luminancji promieniowania widzialnego mierzonych w odległości 0,1 m od maszyny kopiująco-drukującej podczas jej normalnej obsługi.

Tabela 9.

Wyniki pomiarów skutecznej luminancji energetycznej (program wieloletni: 2008-2010)

Szczelina	Skuteczna luminancja energetyczna, W/m ² /sr	Kategoria emisji wynikająca z pomiaru
Szczelina od frontu (zaznaczony obszar na rys. 11.)	0,245	0
Szczelina z lewej strony (zaznaczony obszar na rys. 12.)	4,667	0

Wnioski z badań przeprowadzonych na maszynie kopiująco-drukującej

Badaną maszynę kopiująco-drukującą typ CPS 700 zakwalifikowano do zerowej kategorii emi-

sji promieniowania widzialnego. W związku z tym pracownicy obsługujący to urządzenie nie muszą być wyposażeni w okulary ochronne.

PODSUMOWANIE

Opisana, zgodnie z obowiązującymi kryteriami, metoda służąca do określania kategorii emisji maszyn ze względu na zagrożenie emitowanym przez nie promieniowaniem: nadfioletowym, podczerwonym lub widzialnym, powinna ułatwić producentom maszyn wykonanie ciężącego na nich obowiązku odpowiedniego oznakowania swoich urządzeń. Jest to bardzo istotne ze względu na możliwość poprawy warunków pracy oraz organizacji nowych stanowisk pracy przez zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom podczas obsługi maszyn emitujących to promieniowanie. Należy więc przypuszczać, że prawidłowa ocena emisji promieniowania optycznego emitowanego przez maszyny już na etapie produkcji lub ewen-

tualnie po zamontowaniu maszyn u odbiorcy oraz zastosowanie skutecznych środków ograniczających to promieniowanie przyczyni się w znacznym stopniu do poprawy warunków pracy oraz bezpieczeństwa osób je obsługujących. Natomiast fakt braku oznakowań maszyn dotyczących kategorii emisji promieniowania optycznego świadczy po prostu o tym, że nie są wykonywane przez producentów badania w celu określenia tej kategorii. Zastosowanie w maszynie przeznaczonej dla przemysłu spożywczego prostych środków zaradczych wpłynęło w sposób znaczący na ograniczenie emisji promieniowania nadfioletowego na zewnątrz maszyny.

PIŚMIENNICTWO

Bąk J., Skonieczna M. (2005) Źródła światła [W:] Poradnik inżyniera elektryka. Wyd. III. T. 3. Warszawa, WNT.

PN-EN 12198-1+A1: 2010 „Bezpieczeństwo maszyn – Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny – Część 1: Zasady ogólne”.

PN-EN 12198-2+A1: 2010 „Bezpieczeństwo maszyn – Ocena i zmniejszanie ryzyka wynikającego z promieniowania emitowanego przez maszyny – Część 2: Sposób pomiaru emitowanego promieniowania”.

Dyrektywa 89/655/EWG z dnia 30.11.1989 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu roboczego przez pracowników podczas pracy (druga dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG).

Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5.04.2006 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 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG).

Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17.05.2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE.

Program wieloletni 2008 ÷ 2010 Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy, etap I, Analiza zagrożeń nielaserowym promieniowaniem optycznym emitowanym przez wybrane maszyny przemysłowe. Zadanie z zakresu służb państwowych nr 3.S.05 pt. Opracowanie procedur badania nielaserowego promieniowania optycznego emitowanego przez maszyny. Realizator CIOP – PIB. Kierownik zadania: A. Pawlak (praca niepublikowana).