



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

**Praca naukowo-badawcza
z zakresu prewencji wypadkowej**

**Ocena zagrożeń związanych z emisjami
elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo
wprowadzanych urządzeń oświetleniowych**

**zrealizowana na podstawie
umowy nr 5165/0/993200/1/2010, TZ/370/41/10 z dnia 1.09.2010 r.
zawartej pomiędzy ZUS i CIOP-PIB**

Wykonawcy:
dr inż. Jolanta Karpowicz
dr inż. Krzysztof Gryz
dr inż. Agnieszka Wolska
mgr inż. Włodzimierz Miądowicz
mgr inż. Andrzej Pawlak
mgr inż. Patryk Zradziński
Andrzej Wolski

Warszawa, listopad 2010 r.

Ocena zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych

Streszczenie

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy europejskiej 2005/32/WE [5] Polska jest zobligowana do 2016 roku do wycofania z rynku wszystkich żarowych źródeł światła o mocy powyżej 7 W. Według planowanego harmonogramu, zostaną one stopniowo zastąpione przez wprowadzane do powszechnego użycia alternatywne źródła światła, takie jak: świetlówki kompaktowe zintegrowane z elektronicznym układem zapłonowym, diody elektroluminescencyjne dużej mocy (tzw. LED) oraz żarówki halogenowe nowej generacji. Nowo wprowadzane urządzenia oświetleniowe (rozumiane jako źródło światła wraz z układem zapłonowym lub zasilającym) mogą być źródłem różnorodnego promieniowania elektromagnetycznego: pól elektromagnetycznych, promieniowania podczerwonego, widzialnego i nadfioletowego. Charakterystyka tych promieniowań jest inna niż tradycyjnych urządzeń oświetleniowych ze źródłami żarowymi (ze względu na odmienny rodzaj zasilania i sposób wytwarzania światła).

Celem niniejszej pracy było kompleksowe rozpoznanie oraz opracowanie charakterystyki parametrów emisji elektromagnetycznej dostępnych na rynku nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych będących zamiennikami tradycyjnych żarówek. Badania podjęto ze względu na brak pełnych danych o parametrach emisji elektromagnetycznych w otoczeniu różnego typu nowoczesnych urządzeń oświetleniowych i istotności ich oddziaływania na użytkowników.

W trakcie realizacji pracy dokonano przeglądu wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi (w zakresie pól elektromagnetycznych oraz promieniowania optycznego) urządzeń oświetleniowych oraz przeglądu typów urządzeń oświetleniowych z nowowprowadzanymi źródłami światła stanowiącymi zamienniki żarówek głównego szeregu. Na tej podstawie określono wymagania dotyczące parametrów użytkowych oraz kryteria oceny zagrożeń

związanych z emisjami elektromagnetycznymi (w zakresie pól elektromagnetycznych oraz promieniowania optycznego) tych urządzeń.

Na potrzeby realizacji zaplanowanych badań opracowano metodykę laboratoryjnych badań porównawczych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych. Wykonano badania na reprezentatywnej próbce 41 rodzajów urządzeń oświetleniowych według opracowanej metodyki w specjalistycznych laboratoriach badawczych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy - Państwowego Instytutu Badawczego. Badania te dotyczyły: identyfikacji metodami spektrometrycznymi i analizy widmowej metodą FFT charakterystyk parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych emitowanego przez urządzenia oświetleniowe promieniowania elektromagnetycznego charakteryzowanego przez natężenia pola elektrycznego, indukcję magnetyczną, natężenie promieniowania nadfioletowego, podczerwonego i widzialnego - z uwzględnieniem światła niebieskiego. Badania i analiza wyników obejmowały ocenę statystycznej reprezentatywności badanych urządzeń oświetleniowych. Wykorzystane w czasie analizy wyników badań kryteria uwzględniały zarówno parametry użytkowe promieniowania widzialnego emitowanego przez źródła światła, istotne dla bezpieczeństwa i komfortu pracy wykonywanej przy źródłach światła, jak i parametry niepożądanych emisji pól elektromagnetycznych i promieniowania optycznego, istotnych dla zdrowia pracowników i niezawodnego funkcjonowania urządzeń technicznych.

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano charakterystyki emisji elektromagnetycznych 41 rodzajów nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych, dostępnych obecnie na polskim rynku. Na podstawie tej analizy opracowano zalecenia właściwej organizacji stanowisk pracy oraz rozwiązań poprawnego wykorzystania urządzeń oświetleniowych w różnych warunkach ich eksploatacji, a także opracowano metody eliminacji lub ograniczania potencjalnych zagrożeń związanych z emisją elektromagnetyczną urządzeń oświetleniowych wprowadzanych do eksploatacji jako zamienniki żarówek głównego szeregu.

Rezultaty realizacji pracy naukowo-badawczej zostały zaprezentowane w sprawozdaniu, składającym się z:

Części A - Zalecenia prewencyjne, obejmującej: przegląd nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych, przegląd wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi oraz zalecenia prewencyjne dotyczące właściwej organizacji stanowisk pracy oraz rozwiązań poprawnego wykorzystania urządzeń oświetleniowych w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy, a

także metody eliminacji lub ograniczania potencjalnych zagrożeń związanych z emisją elektromagnetyczną urządzeń oświetleniowych,

Części B - Raport z badań, obejmujący: opis metodyki laboratoryjnej badań porównawczych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych, wyniki pomiarów i opracowane charakterystyki emisji elektromagnetycznych nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych, interpretację wyników pomiarów i wnioski w kontekście kryteriów oceny zaprezentowanych w cz. A sprawozdania.

SPIS TREŚCI OGÓLNY

Ocena zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych

	str.
Streszczenie	A-1
Przedmiot umowy	A-8
Sprawozdanie część A - Zalecenia prewencyjne	A-11
W zakresie doboru parametrów urządzeń oświetleniowych na stanowiskach pracy do określonego zadania wzrokowego oraz parametrów geometryczno-przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy, uwzględniającego wymagania dotyczące parametrów użytkowych i kryteria oceny zagrożeń związanych z niepożądanymi emisjami elektromagnetycznymi	
A1 Wprowadzenie	A-12
A2 Przegląd urządzeń oświetleniowych z typowymi nowo wprowadzanymi źródłami światła stanowiącymi zamienniki żarówek głównego szeregu	A-15
A3 Przegląd wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi urządzeń oświetleniowych (w zakresie promieniowania optycznego i pól elektromagnetycznych)	A-33
A4 Zalecenia dotyczące poprawnego wykorzystania zamienników w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy	A-59
A5 Zalecenia dotyczące metod eliminacji lub ograniczania zagrożeń w eksploatacji urządzeń oświetleniowych	A-83
A6 Bibliografia	A-96
Sprawozdanie część B - Raport z badań charakterystyk parametrów emisji elektromagnetycznej zbadanych nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych	
B1 Metodyka laboratoryjnych badań porównawczych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych urządzeń oświetleniowych i aparatura wykorzystana do badań	B-1
B2 Interpretacja wyników pomiarów emisji elektromagnetycznych badanych urządzeń oświetleniowych	B-39
B3 Wnioski w kontekście parametrów użytkowych i zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi badanych urządzeń oświetleniowych	B-69
B4 Szczegółowe wyniki pomiarów i opracowane charakterystyki parametrów emisji elektromagnetycznych badanych urządzeń oświetleniowych	B-85

SPIS TREŚCI SZCZEGÓŁOWY

		str.
	Streszczenie	A-1
	Przedmiot umowy	A-8
	Sprawozdanie część A - Zalecenia prewencyjne w zakresie doboru parametrów urządzeń oświetleniowych na stanowiskach pracy do określonego zadania wzrokowego oraz parametrów geometryczno-przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy, uwzględniającego wymagania dotyczące parametrów użytkowych i kryteria oceny zagrożeń związanych z niepożądanymi emisjami elektromagnetycznymi	A-11
A1	Wprowadzenie	A-12
A2	Przegląd urządzeń oświetleniowych z typowymi nowo wprowadzanymi źródłami światła stanowiącymi zamienniki żarówek głównego szeregu	A-15
	A2.1. Klasy efektywności energetycznej źródeł światła	A-16
	A2.2. Alternatywne rozwiązania do tradycyjnej żarówki	A-19
	A2.2.1. Świetlówki kompaktowe zintegrowane	A-19
	A2.2.2. Energooszczędne żarówki halogenowe	A-24
	A2.2.3. Diody elektroluminescencyjne	A-28
A3	Przegląd wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi urządzeń oświetleniowych (w zakresie promieniowania optycznego i pól elektromagnetycznych)	A-33
	A3.1. Kryteria oceny zagrożenia fotobiologicznego promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła światła	A-33
	A3.1.1. Charakterystyka oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka	A-33
	A3.1.2. Kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym	A-35
	A3.1.3. Klasyfikacja lamp ze względu na potencjalne zagrożenie fotobiologiczne emitowanym przez nie promieniowaniem optycznym	A-39
	A3.1.4. Granice emisji dla poszczególnych grup ryzyka lamp	A-41
	A3.2. Charakterystyka oraz wymagania dotyczące parametrów użytkowych źródeł światła	A-43
	A3.3. Kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem elektromagnetycznym emitowanym przez urządzenia oświetleniowe	A-48
	A3.3.1. Właściwości pól elektromagnetycznych i ich oddziaływanie na ludzi i elementy środowiska pracy	A-48
	A3.3.2. Zagrożenia zdrowia związane z ekspozycją na pola elektromagnetyczne w odniesieniu do źródeł światła	A-50
	A3.3.3. Kryteria oceny zagrożeń elektromagnetycznych	A-52
A4	Zalecenia dotyczące poprawnego wykorzystania zamienników w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy	A-59
	A4.1. Zalecenia poprawnego stosowania zamienników żarówek głównego szeregu ze względu na emisję promieniowania optycznego w różnych warunkach ich eksploatacji	A-59
	A4.1.1. Dobór parametrów urządzeń oświetleniowych na stanowiskach pracy do określonego zadania	A-59

		wzrokowego	
		A4.1.2. Dobór parametrów urządzeń oświetleniowych do cech geometryczno - przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy	A-66
		A4.2. Zalecenia poprawnego stosowania zamienników żarówek głównego szeregu ze względu na emisję pól elektromagnetycznych w różnych warunkach ich eksploatacji	A-71
A5		Zalecenia dotyczące metod eliminacji lub ograniczania zagrożeń w eksploatacji urządzeń oświetleniowych	A-83
		A5.1. Metody eliminacji lub ograniczania zagrożeń związanych z promieniowaniem optycznym w eksploatacji urządzeń oświetleniowych	A-83
		A5.1.1. Dopuszczalne czasy ekspozycji	A-84
		A5.1.2. Graniczne odległości bezpieczne	A-91
		A5.2. Metody eliminacji lub ograniczania zagrożeń związanych z polami elektromagnetycznym w eksploatacji urządzeń oświetleniowych	A-94
A6		Bibliografia	A-96
Sprawozdanie część B - Raport z badań charakterystyk parametrów emisji elektromagnetycznej zbadanych nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych			
B1		Metodyka laboratoryjnych badań porównawczych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych urządzeń oświetleniowych i aparatura wykorzystana do badań	B-1
		B1.1. Cel i wykonawcy pracy naukowo - badawczej	B-1
		B1.2. Metodyka badań parametrów promieniowania optycznego dla potrzeb określania grupy ryzyka lampy	B-4
		B1.2.1. Warunki pomiaru	B-4
		B1.2.2. Aparatura pomiarowa	B-4
		B1.2.3. Źródła wzorcowe	B-6
		B1.2.4. Kalibracja systemu spektrometrycznego	B-8
		B1.2.5. Metoda pomiaru spektrometrycznego	B-13
		B1.3. Sposób wyznaczania parametrów użytkowych i zagrożenia fotobiologicznego	B-15
		B1.3.1. Parametry użytkowe	B-15
		B1.3.2. Parametry do określania zagrożenia fotobiologicznego	B-18
		B1.4. Metodyka badań pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez źródła światła	B-21
		B1.5. Procedura doboru źródeł do badań	B-26
		B1.6. Charakterystyka oraz wymagania dotyczące parametrów użytkowych badanych źródeł światła	B-30
B2		Interpretacja wyników pomiarów emisji elektromagnetycznych badanych urządzeń oświetleniowych	B-39
		B2.1. Interpretacja wyników pomiarów promieniowania optycznego	B-39
		B2.1.1. Parametry zagrożenia fotobiologicznego	B-39
		B2.2. Parametry użytkowe badanych źródeł światła	B-45
		B2.3. Interpretacja wyników pomiarów pola elektromagnetycznego	B-50
		B2.4. Ocena statystyczna reprezentatywności badanych urządzeń oświetleniowych	B-58
		B2.4.1. Ocena statystyczna reprezentatywności badanych urządzeń oświetleniowych w odniesieniu do promieniowania optycznego	B-58
		B2.4.2. Ocena statystyczna reprezentatywności badanych urządzeń oświetleniowych w odniesieniu do pól elektromagnetycznych	B-64

B3	Wnioski w kontekście parametrów użytkowych i zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi badanych urządzeń oświetleniowych	B-69
	B3.1. Wnioski z wyników pomiarów parametrów użytkowych	B-69
	B3.2. Wnioski z wyników badań zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi	B-76
	B3.2.1. Zagrożenia fotobiologiczne	B-76
	B3.2.2. Zagrożenia związane z polami elektromagnetycznymi	B-81
B4	Szczegółowe wyniki pomiarów i opracowane charakterystyki parametrów emisji elektromagnetycznych badanych urządzeń oświetleniowych	B-85

PRZEDMIOT UMOWY

Przedmiotem umowy było wykonanie pracy naukowo - badawczej z zakresu prewencji wypadkowej nt. **"Ocena zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych i opracowanie zaleceń prewencyjnych"**.

Celem pracy było kompleksowe rozpoznanie oraz opracowanie charakterystyki parametrów emisji elektromagnetycznej dostępnych na rynku nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych i wykorzystanie ich do wskazania właściwej organizacji stanowisk pracy oraz rozwiązań poprawnego wykorzystania tych urządzeń w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy, a także opracowanie metod eliminacji lub ograniczania potencjalnych zagrożeń związanych z emisją elektromagnetyczną.

1) Kompleksowe rozpoznanie parametrów emisji elektromagnetycznej nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych (zamienników urządzeń oświetleniowych wycofywanych) wg umowy swoim zakresem obejmowało:

- opracowanie charakterystyki parametrów emisji urządzeń oświetleniowych, tj. źródeł światła i elementów zasilających do wykorzystania w zakresie właściwej organizacji stanowisk pracy
- wskazanie rozwiązań poprawnego wykorzystania zamienników w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy
- wskazanie metod eliminacji lub ograniczania zagrożeń w eksploatacji urządzeń oświetleniowych.

2) Wykonanie części badawczej wg umowy swoim zakresem obejmowało:

- przegląd wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi (w zakresie pól elektromagnetycznych oraz promieniowania optycznego) urządzeń oświetleniowych
- przegląd urządzeń oświetleniowych z typowymi nowowprowadzanymi źródłami światła stanowiącymi zamienniki żarówek głównego szeregu i wybór reprezentatywnej próbki do badań laboratoryjnych (41 rodzajów)

- opracowanie metodyki laboratoryjnych badań porównawczych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych emisji elektromagnetycznych z uwzględnieniem oceny statystycznej reprezentatywności badanych urządzeń oświetleniowych
- opracowanie charakterystyki emisji elektromagnetycznych nowo wprowadzanych urządzeń oświetleniowych.

3) Do wykonania części badawczej zgodnie z umową wykorzystano:

- metody spektralne badań emisji elektromagnetycznych, tj. spektrometryczne metody badania promieniowania optycznego i metody badań parametrów amplitudowo-częstotliwościowych pól elektromagnetycznych
- analizę widmową metodą szybkiej transformaty Fouriera FFT.

Do badań zgodnie ze specyfikacją umowy użyto m.in. następującej aparatury:

- system spektrometryczny do pomiarów promieniowania optycznego (nadfioletowego, widzialnego i podczerwonego)
- szerokopasmowe i selektywne mierniki natężenia pola elektrycznego i magnetycznego
- kalibrowane anteny pola elektrycznego i magnetycznego
- analizator widma
- szybkie oscyloskopy cyfrowe.

Badania prowadzono w pomieszczeniach laboratoryjnych ekranowanych przed zakłóceniami elektromagnetycznymi.

4) Do realizacji zadania zgodnie ze specyfikacją umowy powołano zespół 5 specjalistów odpowiadających za wykonanie części badawczej z następujących dziedzin wiedzy: badania parametrów amplitudowo-częstotliwościowych i przestrzennych pól elektromagnetycznych oraz spektrometrycznych badań promieniowania optycznego urządzeń oświetleniowych, tj. źródeł światła i elementów zasilających.

Wynikiem przeprowadzonych prac zgodnie z umową jest raport z badań zawierający m.in.:

- opis zastosowanych metod badawczych
- wyniki pomiarów
- interpretację wyników pomiarów
- wnioski.

5) Na podstawie przeprowadzonych badań zgodnie ze specyfikacją umowy opracowano sprawozdanie zawierające:

- analizę wyników badań pod kątem oceny parametrów użytkowych oraz zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi urządzeń oświetleniowych

- zalecenia prewencyjne w zakresie doboru parametrów urządzeń oświetleniowych na stanowiskach pracy do określonego zadania wzrokowego oraz parametrów geometryczno-przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy, uwzględniającego wymagania dotyczące parametrów użytkowych i kryteria oceny zagrożeń związanych z niepożądanymi emisjami elektromagnetycznymi
- raport z badań prezentujące charakterystykę parametrów emisji elektromagnetycznych zbadanych urządzeń oświetleniowych oraz opracowane zalecenia prewencyjne.

Sprawozdanie część A

ZALECENIA PREWENCYJNE

W ZAKRESIE DOBORU PARAMETRÓW URZĄDZEŃ OŚWIETLENIOWYCH NA STANOWISKACH PRACY DO OKREŚLONEGO ZADANIA WZROKOWEGO ORAZ PARAMETRÓW GEOMETRYCZNO-PRZESTRZENNYCH POMIESZCZENIA I MIEJSCA PRACY UWZGLĘDNIAJĄCEGO WYMAGANIA DOTYCZĄCE PARAMETRÓW UŻYTKOWYCH I KRYTERIA OCENY ZAGROZEŃ ZWIĄZANYCH Z NIEPOŻĄDANYMI EMISJAMI ELEKTROMAGNETYCZNYMI

Autorzy:

**dr inż. Jolanta Karpowicz
dr inż. Krzysztof Gryz
mgr inż. Andrzej Pawlak
dr inż. Agnieszka Wolska
mgr inż. Patryk Zradziński**

Obejmuje:

- Przegląd urządzeń oświetleniowych z typowymi nowowprowadzanymi źródłami światła stanowiącymi zamienniki żarówek głównego szeregu
- Przegląd wymagań dotyczących parametrów użytkowych i kryteriów oceny zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi urządzeń oświetleniowych (w zakresie promieniowania optycznego i pól elektromagnetycznych)
- Zalecenia dotyczące poprawnego, ze względu na emisję promieniowania elektromagnetycznego, wykorzystania zamienników w różnych warunkach ich eksploatacji na stanowiskach pracy
- Zalecenia dotyczące metod eliminacji lub ograniczania potencjalnych zagrożeń związanych z emisją elektromagnetyczną urządzeń oświetleniowych

A1. WPROWADZENIE

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy europejskiej 2005/32/WE [5], ze względu na przeciwdziałanie emisjom CO₂ Polska jest zobligowana do wycofania z rynku wszystkich żarowych źródeł światła o mocy powyżej 7 W. Według planowanego harmonogramu, zostaną one stopniowo zastąpione przez wprowadzane do powszechnego użycia w okresie od 2009 do 2016 roku alternatywne źródła światła, takie jak: świetlówki kompaktowe zintegrowane z elektronicznym układem zapłonowym, diody elektroluminescencyjne dużej mocy (tzw. LED), żarówki halogenowe nowej generacji. (fot. A1).



Fot. A1. Typowe zamienniki żarówek głównego szeregu dostępne na polskim rynku
[fot. zbiory autorów]

Nowowprowadzane urządzenia oświetleniowe (rozumiane jako źródło światła wraz z układem zapłonowym lub zasilającym) mogą być źródłem różnorodnego promieniowania elektromagnetycznego: pól elektromagnetycznych, promieniowania podczerwonego, widzialnego i nadfioletowego. Charakterystyka tych promieniowań jest inna niż tradycyjnych urządzeń ze źródłami żarowymi (ze względu na odmienny rodzaj zasilania i sposób wytwarzania światła). Brak jest pełnych danych o parametrach emisji elektromagnetycznych w otoczeniu różnego typu nowoczesnych urządzeń oświetleniowych i istotności ich oddziaływania na użytkowników. Z uwagi na wielu producentów tego rodzaju zamienników żarówek głównego szeregu (m.in. z rynku azjatyckiego) występują bardzo istotne różnice parametrów ww. promieniowania elektromagnetycznego i optycznego między podobnymi typami źródeł światła.

Działania związane z wymianą źródeł światła dotyczyć będą w znacznej skali pomieszczeń ze stanowiskami pracy. Na podstawie danych o zatrudnieniu w 2008 r. można szacować, że skutki tego procesu mogą dotyczyć ponad 10 milionów pracowników (GUS'2009) [55], zatrudnionych w znacznej części w małych i średnich przedsiębiorstwach.

Głównym zadaniem źródeł światła jest wytworzenie promieniowania widzialnego o odpowiedniej charakterystyce widmowej. Dobór źródeł światła do określonego zadania wzrokowego lub rodzaju stanowiska pracy wymaga uwzględnienia parametrów promieniowania widzialnego takich jak: strumień świetlny, wskaźnik oddawania barw, barwa światła. Istotnym parametrem jest również skuteczność świetlna źródła związana z jego energooszczędnością. Pozostałe składowe promieniowania elektromagnetycznego, takie jak promieniowanie nadfioletowe, podczerwone i pola elektromagnetyczne, są niepożądane, a nawet mogą negatywnie wpływać na stan zdrowia i zdolność do pracy ekspozowanego człowieka lub funkcjonowanie urządzeń elektronicznych - zależnie od parametrów amplitudowo-częstotliwościowych natężenia tych promieniowań. Podobnie promieniowanie widzialne o niewłaściwych parametrach może niekorzystnie wpływać na stan zdrowia i zdolność do pracy. Wielu pracowników skarża się na niewłaściwe oświetlenie stanowisk pracy i utożsamia różnego rodzaju dolegliwości ze skutkami oddziaływania różnych składowych widmowych promieniowania elektromagnetycznego, emitowanych przez nowoczesne urządzenia oświetleniowe. Niedopuszczalna jest na przykład zamiana świetlówek liniowych diodami elektroluminescencyjnymi dużej mocy zamontowanymi wewnątrz szklanej rury o wymiarach świetlówki. Zgodnie z dyrektywą 2006/25/WE [6] wzrok pracowników należy w takim samym stopniu chronić przed promieniowaniem widzialnym emitowanym przez LEDy jak i przed promieniowaniem laserowym. W związku z tym każda dioda świecąca musi mieć swój własny układ świetlno optyczny.

Również źródła halogenowe, stosowane szczególnie w oprawach oświetlenia miejscowego, muszą posiadać skuteczne ograniczenie promieniowania nadfioletowego.

Zarówno składowe widmowe promieniowania optycznego (widzialne, nadfioletowe i podczerwone), jak i pól elektromagnetycznych (pola małej i średniej częstotliwości, promieniowanie radiofalowe i mikrofalowe) są czynnikami środowiska pracy, które powinny być oceniana zgodnie z postanowieniami przepisów BHP (np. rozporządzenia w sprawie NDS i NDN [40, 41], czy Dyrektyw europejskich, takich jak: 2004/40/WE [7], 2006/25/WE[6]). Użytkowanie różnorodnych źródeł światła odbywa się bardzo często przy niedostatecznej świadomości różnic parametrów emisji elektromagnetycznych i metod prewencji dla uzyskania optymalnych warunków ich użytkowania. W związku z tym zakres pracy obejmował również opracowanie niniejszych zaleceń dotyczących oceny porównawczej emisji elektromagnetycznych wybranych zamienników lamp żarowych wycofywanych z rynku, w aspekcie parametrów amplitudowo-częstotliwościowych (spektrometrycznych) i przestrzennych, tj.:

- **parametrów użytkowych promieniowania widzialnego** emitowanego przez źródła światła, istotnych dla bezpieczeństwa i komfortu pracy wykonywanej przy takich źródłach światła
- **parametrów niepożądanych emisji** pól elektromagnetycznych i promieniowania optycznego, istotnych dla zdrowia pracowników i niezawodnego funkcjonowania urządzeń technicznych.

W związku z wprowadzaniem w państwach członkowskich Unii Europejskiej urządzeń oświetleniowych ze źródłami nieżarowymi niezbędne jest kompleksowe rozpoznanie parametrów oraz opracowanie charakterystyki ich emisji elektromagnetycznej, wskazanie rozwiązań optymalnych dla różnych warunków ich eksploatacji na stanowiskach pracy oraz metod eliminacji lub ograniczania potencjalnych zagrożeń.

Opracowane zalecenia są przeznaczone głównie dla specjalistów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i higienę pracy, projektantów systemów oświetleniowych, kadry zarządzającej lub kierowniczej zaangażowanej w działania systemowe związane z procesem zastąpienia żarowych źródeł światła zamiennikami nieżarowymi.

A2. PRZEGLĄD URZĄDZEŃ OŚWIETLENIOWYCH Z TYPOWYMI NOWOWPROWADZANYMI ŹRÓDŁAMI ŚWIATŁA STANOWIĄCYMI ZAMIENNIKI ŻARÓWEK GŁÓWNEGO SZEREGU

W Polsce w handlu do roku 1990 praktycznie nie występowały inne źródła światła z trzonkiem E27 lub E14 oprócz tradycyjnych żarówek głównego szeregu z reguły o mocy 100 W, 75 W lub 60 W.

W ramach wdrażania dyrektywy Energy Using Products Directive” (EUP) 2005/32/WE [5], dla oświetlenia opracowano nowe scenariusze dotyczące przyszłości oświetlenia domowego i biurowego. Wdrożenie wymagań zapisów zawartych w tej dyrektywie w praktyce oznaczać będzie wyeliminowanie ze sprzedaży tradycyjnej żarówki. Ze względu na zasadę działania jest ona bardzo nieefektywnym źródłem światła. Jedynie do kilkunastu procent energii elektrycznej dostarczanej do żarówki jest zamieniane na promieniowanie widzialne. Pozostałe ponad osiemdziesiąt kilka procent jest emitowane w postaci promieniowania podczerwonego.

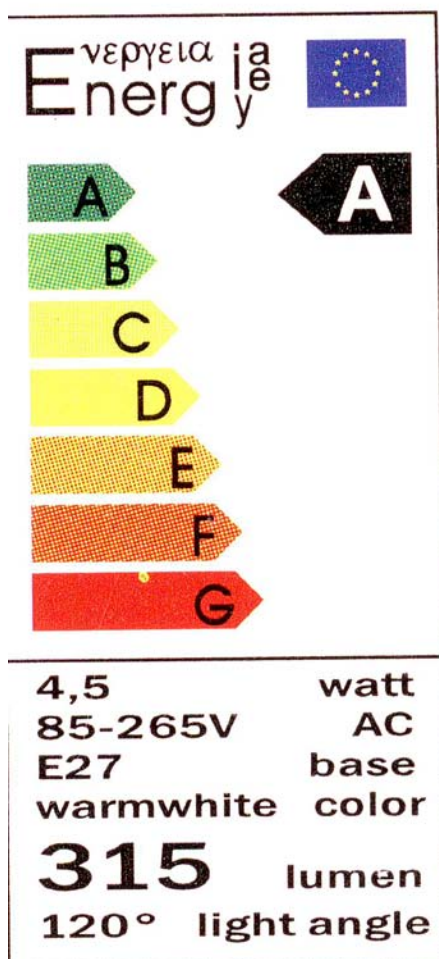
Aktualnie jest dostępnych na rynku polskim wiele alternatywnych do żarówek źródeł światła przeznaczonych do oświetlania. Oprócz energooszczędnych świetlówek kompaktowych dostępne są różne odmiany żarówek halogenowych o klasie efektywności energetycznej B i C oraz najnowsze źródła światła oparte o diody elektroluminescencyjne.

Parametry użytkowe oraz parametry charakteryzujące zagrożenia związane z emisjami elektromagnetycznymi urządzeń oświetleniowych omówiono w rozdz. A3.

A2.1. Klasy efektywności energetycznej źródeł światła

Klasa efektywności energetycznej to skala, która wskazuje energooszczędność urządzenia. Zaczyna się ona od litery A określającej urządzenia najbardziej energooszczędne, a kończy się na literze G dla sprzętów najmniej energooszczędnych. Klasę energetyczną wyznacza się porównując roczne zużycie energii przez urządzenie ze standardowym zużyciem energii urządzeń tego typu. Przykładowo żarówka o mocy 100 W emitująca strumień świetlny 1 360 lumenów posiada klasę energetyczną E. Aby energooszczędna świetlówka kompaktowa emitująca taki sam strumień świetlny jak żarówka o mocy 100 W posiadała klasę A nie może zużywać więcej niż 22,86 W. W tabeli A2.1 pokazano jaką maksymalną moc mogą pobierać źródła światła emitujące określony strumień świetlny, aby móc posiadać określoną etykietę efektywności energetycznej.

Na rys. A2.1 pokazano przykładową etykietę efektywności energetycznej źródła światła.



Rys. A2.1. Przykładowa etykieta energetyczna źródła światła [fot. zbiory autorów]

Tabela A2.1.

Zależność między strumieniem świetlnym źródła światła, a maksymalną mocą przez nie pobieraną w odniesieniu do określonej klasy efektywności energetycznej
[\[http://pl.wikipedia.org/wiki/Etykieta_energetyczna\]](http://pl.wikipedia.org/wiki/Etykieta_energetyczna)

Strumień świetlny [lm]	klasa A	klasa B	klasa C	klasa D	klasa E	klasa F	Uwagi
90	3,20	7,66	10,21	12,12	14,03	16,59	żarówka o mocy 15 W
100	3,43	8,22	10,96	13,02	15,07	17,81	
150	4,48	10,88	14,50	17,22	19,94	23,57	
200	5,45	13,35	17,80	21,13	24,47	28,92	
220	5,83	14,30	19,07	22,64	26,22	30,98	żarówka o mocy 25 W
250	6,37	15,70	20,93	24,86	28,78	34,01	
300	7,25	17,97	23,95	28,44	32,94	38,92	
350	8,09	20,17	26,89	31,93	36,97	43,70	
400	8,92	22,32	29,76	35,34	40,92	48,36	
420	9,24	23,17	30,89	36,68	42,48	50,20	żarówka o mocy 40 W
450	9,73	24,43	32,57	38,68	44,79	52,93	
500	10,52	26,51	35,34	41,97	48,60	57,43	
550	11,29	28,55	38,07	45,21	52,35	61,86	
600	12,06	30,57	40,76	48,41	56,05	66,24	
650	12,81	32,57	43,43	51,57	59,71	70,57	
700	13,56	34,55	46,07	54,70	63,34	74,86	
710	13,71	34,94	46,59	55,33	64,06	75,71	żarówka o mocy 60 W
750	14,30	36,51	48,68	57,81	66,93	79,10	
800	15,03	38,45	51,27	60,89	70,50	83,32	
850	15,75	40,38	53,84	63,94	74,04	87,50	
900	16,47	42,30	56,40	66,98	77,55	91,65	
940	17,04	43,82	58,43	69,39	80,34	94,95	żarówka o mocy 75 W
950	17,18	44,20	58,94	69,99	81,04	95,78	

1000	17,89	46,10	61,46	72,99	84,51	99,88	
1050	18,59	47,98	63,97	75,97	87,96	103,95	
1100	19,29	49,85	66,47	78,93	91,39	108,01	
1150	19,98	51,72	68,95	81,88	94,81	112,05	
1200	20,67	53,57	71,43	84,82	98,21	116,07	
1250	21,36	55,42	73,89	87,74	101,60	120,07	
1300	22,04	57,26	76,34	90,66	104,97	124,06	
1350	22,72	59,09	78,79	93,56	108,33	128,03	
1360	22,86	59,46	79,27	94,14	109,00	128,82	żarówka o mocy 100 W
1400	23,40	60,92	81,22	96,45	111,68	131,98	
1450	24,07	62,74	83,65	99,33	115,02	135,93	
1500	24,75	64,55	86,07	102,20	118,34	139,86	
1550	25,41	66,36	88,48	105,07	121,66	143,77	
1600	26,08	68,16	90,88	107,92	124,96	147,68	
1650	26,74	69,96	93,28	110,77	128,26	151,57	
1700	27,41	71,75	95,67	113,60	131,54	155,46	
1750	28,06	73,54	98,05	116,43	134,82	159,33	
1800	28,72	75,32	100,43	119,26	138,09	163,20	
1850	29,38	77,10	102,80	122,08	141,35	167,05	
1900	30,03	78,87	105,17	124,89	144,60	170,90	
1950	30,68	80,65	107,53	127,69	147,85	174,73	
2000	31,33	82,41	109,88	130,49	151,09	178,56	
2050	31,98	84,18	112,23	133,28	154,32	182,38	
2100	32,63	85,94	114,58	136,07	157,55	186,19	
2150	33,27	87,69	116,92	138,85	160,77	190,00	
2160	33,40	88,04	117,39	139,40	161,41	190,76	żarówka o mocy 150 W

Obowiązek stosowania etykiet efektywności energetycznych wynika z Rozporządzenie Ministra Pracy i Gospodarki „W sprawie wymagań dotyczących dokumentacji technicznej, stosowania etykiet i charakterystyk technicznych oraz wzorów etykiet dla urządzeń” [24].

A2.2. Alternatywne rozwiązania do tradycyjnej żarówki

A2.2.1. Świetlówki kompaktowe zintegrowane

Świetlówki kompaktowe zintegrowane z układem zapłonowym są stosunkowo młodą rodziną lamp fluorescencyjnych. Strumień świetlny w świetlówkach kompaktowych powstaje tak samo jak w rurowych - dzięki przetwarzaniu przez warstwę luminoforu (zjawisko fotoluminescencji) promieniowania nadfioletowego (uzyskanego na drodze elektroluminescencji) na promieniowanie widzialne. Warunki pracy świetlówki (wymiar, natężenie prądu, ciśnienie par rtęci i gazu pomocniczego) są tak dobrane, aby otrzymać optymalną emisję promieniowania rtęci dla długości fal 185,0 i 253,7 nm. Luminofor znajdujący się wewnętrznej powierzchni bańki przetwarza głównie te dwa promienie na światło o żądanych właściwościach (rozkładzie widmowym).

Konstrukcje świetlówek kompaktowych wyposażone w trzonek E27 lub E14 są bezpośrednim zamiennikiem tradycyjnej żarówki i mogą być bezpośrednio zamontowane w typowych oprawach oświetleniowych. Generalnie, świetlówki kompaktowe są dostępne w wersji z nieosłoniętymi rurkami szklanymi o różnym kształcie oraz z osłoniętymi rurkami za pomocą bańki (przypominającej kształt żarówki) (rys. A2.2).

Zastosowanie opalizowanego klosza sprawia, że powierzchnia emitująca światło jest większa. Dzięki temu luminancja świetlówki jest mniejsza, przez co można ją stosować w otwartych oprawach oświetleniowych, w których widoczne jest źródło światła. Zastosowanie dodatkowego klosza rozpraszającego sprawia również, że dystrybucja światła jest bardziej zbliżona do żarówki. Natomiast zintegrowane świetlówki reflektorowe są zamiennikami żarówek reflektorowych (zwierciadlanych) typu R 38, R95, R60 czy R63. Mogą być również zamiennikami podobnych żarówek halogenowych typu PAR 38, PAR 30, PAR 20 czy PAR 16. Przykładowe typy reflektorowych świetlówek kompaktowych, pokazanych na rys. A2.3, różnią się kątem rozsyłu, strumieniem świetlnym oraz obecnością dodatkowego klosza (rys. A2.3a).

a)



b)



c)



Rys. A2.2. Przykładowe zintegrowane świetlówki kompaktowe o różnych kształtach:
a) spiralna; b) z dodatkową bańką; c) rurkowa [fot. zbiory autorów]

a)



b)



Rys. A2.3. Przykładowe typy reflektorowych świetlówek kompaktowych: a) PAR Downlighter ES 23W/827 (PHILIPS) b) DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825 (OSRAM) [fot. zbiory autorów]

Różnice w kształcie, wymiarach, masie i wartości emitowanego strumienia świetlnego świetlówek kompaktowych stwarzają dziś szerokie możliwości ich wyboru. Obecnie można tak dobrać świetlóvky kompaktowe, aby zapewniły odpowiedniej jakości oświetlenie w sytuacjach, w których do tej pory używano tradycyjnych żarówek. Należy tu jednak zwrócić uwagę na kształt tych źródeł tuż za trzonkiem. W tym miejscu są one znacznie szersze niż tradycyjne żarówki ze względu na ukryty układ zapłonowy.

W porównaniu z tradycyjnymi żarówkami, świetlóvky kompaktowe zużywają pięciokrotnie mniej energii elektrycznej a trwałość ich jest nawet do piętnastu razy większa. Przykładowo trwałość typowych wyrobów wynosi 6 000 godzin, a w wersji o wydłużonej trwałości (np. świetlóvky z serii o nazwie Master) do 15 000 godzin. Świetlóvky kompaktowe mogą również emitować „ciepłe” światło (o temperaturze barwowej rzędu 2700 – 3000 K), czyli zbliżone do barwy światła żarówek. Wskaźnik oddawania barw jest na poziomie dobrym, $R_a \geq 80$. Dla porównania - wskaźnik oddawania barw żarówek jest bardzo dobry, $R_a = 100$. W świetlóvkach kompaktowych mogą być stosowane dwie wersje układów zapłonowych:

a) układ zapłonowy klasyczny (magnetyczny) – tzn. dławik indukcyjny i zapłonnik

b) układ zapłonowy elektroniczny:

- w wersji z przegrzewaniem elektrod (tzw. ciepły zapłon)
- w wersji bez przegrzewania elektrod (tzw. zimny zapłon).

W praktyce świetlóvky z klasycznym układem zapłonowym już nie występują na rynku oświetleniowym, gdyż były znacznie cięższe od wersji elektronicznej, a zapłon występował po kilku sekundach od załączenia. Wadą ich było też zauważalne migotanie. Tych wad nie posiadają świetlóvky z układem elektronicznym – w tańszych wersjach bez przegrzewania elektrod oraz w droższych – z przegrzewaniem elektrod. Przegrzewanie odbywa się za pomocą dodatkowego układu elektronicznego dzięki któremu uzyskuje się optymalną temperaturę elektrod przed zapłonem w gazie. Spowalnia to proces zużywania elektrod, co ma wpływ na wydłużenie trwałości. Ponadto świetlóvky wyposażone w taki układ są mało wrażliwe na częste włączanie i wyłączanie. Dławik indukcyjny stosowany w świetlóvkach kompaktowych jest niewielki ponieważ częstotliwość pracy świetlówek z elektronicznym zapłonem jest około 1000 razy większa od częstotliwości sieci zasilającej. Dzięki temu kompaktowa świetlóvka elektroniczna ma małe rozmiary i jest bardzo lekka. Zastosowanie elektroniki umożliwia ponadto natychmiastowe i bezmigotliwe zaświecenie świetlóvky. Elektroniczne układy zapłonowe bez przegrzewania elektrod są tańsze, lecz ich wrażliwość na częste włączanie i wyłączanie jest większa, a trwałość mniejsza.

Świetlóvky kompaktowe mogą być stosowane we wszystkich rodzajach pomieszczeń np. w biurach, salach wystawowych, restauracjach, hotelach, korytarzach, itp. Należy również

pamiętać, że powszechnie dostępne świetlówki kompaktowe potrzebują kilkudziesięciu sekund na uzyskanie pełnego strumienia świetlnego po ich włączeniu (tzw. „rozświecenie”). Producenci zaczynają wytwarzać już świetlówki o skróconym czasie „rozświecenia”, który wynosi kilka sekund. Jeśli taki produkt wprowadzany jest na rynek, to informacja o czasie potrzebnym na uzyskanie pełnego strumienia świetlnego podawana jest na opakowaniu.

Zmodernizowanie układu zasilania świetlówek spowodowało możliwość zwiększenia odporności tych źródeł na częste włączanie i wyłączanie. Przykładem takiego źródła jest świetlówka firmy PHILIPS, MASTER PL-Electronic Stairway o mocy 20 W i trwałości 20 000 godzin. Występowanie w nazwie świetlówki słowa „stairway” oznacza, że dane źródło przeznaczone jest do stosowania na klatkach schodowych lub innych miejscach, gdzie oświetlenie jest często włączane i wyłączane. O tej właściwości może również świadczyć napis na opakowaniu: „High switch life” oraz symbol „ON – OF 1 000 000 X”.

Większości świetlówek kompaktowych nie należy stosować w obwodach ze ściemniaczami światła, wyłącznikami elektronicznymi oraz fotokomórką, gdyż może to spowodować uszkodzenie świetlówki lub współpracującego z nimi urządzenia. Nie dotyczy to wyrobów, w których nazwie występuje angielskie słowo Dimmable (lub skrót Dim), które można stosować ze ściemniaczami światła bez obawy o ich uszkodzenie. Źródła tego typu występują zwykle o większych mocach (od 20 W) tak, aby umożliwić jak największy zakres regulacji strumienia świetlnego.

Zgodnie z przyjętą w [52] klasyfikacją świetlówek, dotyczącą ich jakości można stwierdzić, że na rynku oświetleniowym dostępne są świetlówki o wysokiej jakości – wykonane na wysokim poziomie technicznym, świetlówki o przeciętnej jakości oraz świetlówki o niskiej jakości – najczęściej „niefirmowe” (patrz tabela A2.2). Pod pojęciem wyrobów „niefirmowych” należy rozumieć wyroby pochodzenia dalekowschodniego nie firmowane przez żadną ze znanych marek. W związku z tym, w celu dokonania oceny świetlówek kompaktowych, należy wziąć pod uwagę te trzy grupy jakościowe. W tabeli A2.2 przedstawiono najważniejsze parametry i cechy świetlówek w porównaniu z żarówkami. Natomiast w tabeli A2.3. przedstawiono porównanie pobieranej mocy żarówki głównego szeregu i świetlówki kompaktowej ze zintegrowanym układem zapłonowym, o zbliżonym strumieniu świetlnym dla nowych źródeł.

Tabela A2.2.

Zestawienie parametrów i cech użytkowych świetlówek i żarówek (tabela opracowana na podstawie [52]).

Nazwa parametru (cechy)	Świetłówki o wysokiej jakości	Świetłówki o przeciętnej jakości	Świetłówki o niskiej jakości	Żarówki
Skuteczność świetlna [lm/W]	50-65	30-50	20-30	12-15
Trwałość [h]	12000-15000	~6000	~2000	1000
Wskaźnik oddawania barw	dobry (? 80)	dobry (? 80)	średni (? 60) lub mały(? 40)	bardzo dobry (100)
Temperatura barwowa	ciepła	ciepła lub pośrednia	najczęściej zimna	ciepła
Luminancja	10-42 kcd/m ² dla nieosłoniętych szklanych rurek; ograniczona dla rurek w kloszu opalizowanym	10-42 kcd/m ² dla nieosłoniętych szklanych rurek; ograniczona dla rurek w kloszu opalizowanym	10-42 kcd/m ² dla nieosłoniętych szklanych rurek; ograniczona dla rurek w kloszu opalizowanym	1,9-11,4 Mcd/m ² dla bańki przezroczystej; ograniczona dla bańki matowej (już nie produkowanej)
Wrażliwość na niską temperaturę otoczenia	duża	duża	duża	brak
Wrażliwość na częste cykle włącz/wyłącz	mała	średnia/duża (skrócenie trwałości)	duża (skrócenie trwałości)	brak
Czas uzyskania pełnego strumienia świetlnego	kilka-kilkanaście sekund	kilka minut	kilka-kilkanaście minut	natychmiast
Negatywne oddziaływanie na sieć elektryczną	odkształcenie przebiegu sinusoidalnego napięcia – w małym stopniu	odkształcenie przebiegu sinusoidalnego napięcia	odkształcenie przebiegu sinusoidalnego napięcia - znaczne	brak
Zanieczyszczenie środowiska	rtęć	rtęć	rtęć	brak

Tabela A2.3.

Porównanie pobieranej mocy żarówki głównego szeregu i świetlówki kompaktowej ze zintegrowanym układem zapłonowym, o zbliżonym strumieniu świetlnym dla nowych źródeł.

Świetlówka kompaktowa	Żarówka głównego szeregu
5-6 W	25 W
7-8 W	40 W
11-13 W	60 W
15-16 W	75 W
18-21 W	100 W
23-26 W	125 W
35-42 W	150 W

A2.2.2. Energooszczędne żarówki halogenowe

Żarówki halogenowe występują prawie we wszystkich zastosowaniach, w których stosowane są również tradycyjne żarówki. Cechuje je bardzo dobre oddawanie barw – tak jak dla żarówek głównego szeregu, wskaźnik R_a wynosi 98 - 100. Żarówki halogenowe dzięki zastosowaniu regeneracyjnego cyklu halogenowego osiągają do 25% wyższą skuteczność świetlną oraz 2-3 razy większą trwałość niż tradycyjne żarówki.

Pierwsze żarówki halogenowa na napięcie sieciowe – tzw. Halogen A pojawiły się na rynku oświetleniowym kilkanaście lat temu. Żarnik halogenowy został zaprojektowany na napięcie 230V i umieszczony w bańce szklanej przypominającej gabarytami żarówkę z trzonkiem E 27. Żarówki typu Halogen A występują na rynku oświetleniowym w kilku wersjach, które stanowią bezpośredni zamiennik tradycyjnych żarówek zarówno w bańce A60 (HalogenA BTT), jak również G95 (Halogen A GLOB). Żarówki halogenowe typu HalogenA charakteryzują się większą o około 30% skutecznością świetlną, dwukrotnie większą trwałością niż odpowiadające im żarówki tradycyjne oraz można regulować ich strumień świetlny.

Następnie wprowadzono na rynek nowe odmiany żarówek halogenowych przeznaczonych do pracy na napięcie 230 V, tzw. sieciowe. Żarnik halogenowy został w nich umieszczony w bańce szklanej typowej dla żarówki (A55, B35, R50, R63) na trzonku E27 lub E14 (rys. A2.4).



Rys. A2.4. Przykładowe żarówki halogenowe na napięcie 230 V [fot. zbiory autorów]

Żarówki halogenowe na napięcie sieciowe zużywają do 30% mniej energii elektrycznej w stosunku do żarówek głównego szeregu oraz posiadają dwukrotnie większą trwałością niż odpowiadające im żarówki tradycyjne. W tabeli A2.4. porównano pobieraną moc żarówek głównego szeregu i żarówek halogenowych o zbliżonym strumieniu świetlnym.

Tabela A2.4.

Porównanie pobieranej mocy żarówek głównego szeregu i żarówek halogenowych o zbliżonym strumieniu świetlnym dla nowych źródeł.

Energooszczędna żarówka halogenowa	Odpowiednik żarówki głównego szeregu o mocy	Strumień świetlny [lm]
28 W	40 W	345
42 W	60 W	625
53 W	70 W	850
70 W	92 W	1200
105 W	150 W	1900
140 W	200 W	2800

Należy jednak pamiętać, że żarówki halogenowe zasilane napięciem sieciowym mają mniejszą skuteczność świetlną od żarówek halogenowych niskonapięciowych oraz mają od nich krótszą trwałość.

W ostatnich latach dzięki zastosowaniu nowoczesnych podzespołów elektronicznych udało się zminiaturyzować gabaryty elektronicznych transformatorów do rozmiarów umożliwiających ich zintegrowanie z energooszczędnymi niskonapięciowymi kapsułkami halogenowymi. W ten sposób powstała na bazie niskonapięciowego żarnika halogenowego np. żarówka EcoClassic Dimmable 20W ES (PHILIPS) (rys. A2.5). Żarówka ta o mocy 20 W stanowi energooszczędny zamiennik dla żarówek zwierciadlanych R63 60 W oraz halogenów PAR 20 50 W. W tabeli A2.5 przedstawiono porównanie parametrów energooszczędnej żarówki halogenowej MASTER PAR E-20 z żarówką zwierciadlaną R 63 60W i żarówką halogenową standardową PAR 20 50W (występującą dotychczas na rynku oświetleniowym żarówek halogenowych o klasie efektywności energetycznej powyżej D lub E).

Tabela A2.5.

Porównanie parametrów energooszczędnej żarówki halogenowej MASTER PAR E20 z żarówką zwierciadlaną R 63 60W i żarówki halogenowej standardowej PAR 20 50W.

	R 63 60W żarówka	PAR 20 50W halogen	MASTER PAR E-20 20W
Oszczędność energii	–	17%	60%
Trwałość	1 000h	2 500h	5 000h
Światłość dla kąta wypromieniowania strumienia świetlnego 10°	–	3 500 cd	7 000 cd
Światłość dla kąta wypromieniowania strumienia świetlnego 30°	960 cd	1 000 cd	1 200 cd
Temperatura barwowa	2 700K	2 900K	3 000K

Jako odniesienie przyjęto żarówkę zwierciadlaną R 63 60W.

Natomiast inne żarówki halogenowe, np. wyposażone w powłokę interferencyjną przy identycznym strumieniu świetlnym, co tradycyjne niskonapięciowe żarówki halogenowe zużywają o 40% mniej energii elektrycznej i emitują 40% mniej promieniowania podczerwonego. Równocześnie trwałość takich żarówek wynosi 5000 godzin podczas, gdy trwałość standardowych halogenów nie przekracza 2000-3000 godzin.

W 2008 roku zaprezentowano po raz pierwszy energooszczędną żarówkę halogenową, w której konstrukcji połączono miniaturowy elektroniczny transformator z energooszczędną,

niskonapięciową kapsułką halogenową wyposażoną w powłokę interferencyjną. W ten sposób powstała rodzina źródeł światła (np. EcoClassic Dimmable 20W ES (PHILIPS)) zasilana napięciem 230V, która ma identyczny kształt jak żarówki tradycyjne. Zostały one zaprojektowane jako bezpośrednie zamienniki najczęściej spotykanych żarówek tradycyjnych w bańce A55 o mocach 40W i 60W (gwint E27) oraz standardowych żarówek w kształcie świeczki B35 o mocy 25W i 40W (gwint E14). Przy emisji tego samego strumienia świetlnego co tradycyjna żarówka, zużywają od nich o 50% mniej energii elektrycznej oraz mają trzykrotnie większą trwałość i mogą być stosowane ze ściemniaczami. Natomiast dotychczasowe żarówki halogenowe będące zamiennikami żarówek pozwalały na uzyskanie jedynie 30% oszczędności w zużyciu energii przy dwukrotnie większej trwałości w porównaniu do tradycyjnej żarówki. Nowa generacja energooszczędnych żarówek halogenowych posiada klasę efektywności energetycznej B z bańką przezroczystą (oszczędność rzędu 42% w stosunku do tradycyjnych żarówek halogenowych) i klasę C w wersji z bańką opalizowaną. W tabeli A2.6. zestawiono podstawowe dane techniczne aktualnie produkowanych energooszczędnych żarówek halogenowych.



Rys. A2.5. Halogenowa żarówka energooszczędne EcoClassic Dimmable 20W ES (PHILIPS) z wbudowanym elektronicznym transformatorem [fot. zbiory autorów]

Tabela A2.6.

Dane techniczne aktualnie produkowanych energooszczędnych żarówek halogenowych

Kształt bańki	Rodzaj bańki	Rodzaj trzonka	Trwałość [godz.]	Moc [W]	Odpowiadająca moc tradycyjnej żarówki halogenowej [W]	Strumień światlny [lm]	Klasa efektywności energetycznej
A55	Przezroczysta	E27	3000	20	35	370	B
				30	52	620	
A55	Opalizowana	E27	3000	20	–	310	C
				30	–	520	
B35	Przezroczysta	E14, E27	3000	13	22	240	B
				20	35	370	
B35	Opalizowana	E14, E27	3000	20	–	290	C

A2.2.3. Diody elektroluminescencyjne

Dioda elektroluminescencyjna (LED) to element półprzewodnikowy, który po wzbudzeniu złącza p-n prądem elektrycznym emituje promieniowanie optyczne dzięki zjawisku elektroluminescencji. W ostatniej dekadzie minionego stulecia nastąpił przełom w dziedzinie konstrukcji diod elektroluminescencyjnych, kiedy to skonstruowano diodę emitującą światło białe. Od tej pory producenci dążyli do uzyskania dużej powtarzalności parametrów świetlnych tych diod przy równoczesnym uzyskaniu dużej skuteczności świetlnej.

Dioda LED składa się z warstwy półprzewodnika typu n i półprzewodnika typu p, a złącze tych półprzewodników nazwano złączem p-n, w którym znajduje się obszar aktywny wzbudzonych elektronów. W obszarze aktywnym wzbudzone elektrony rekombinują z dziurami i pozbywają się nadwyżki energii emitując foton (kwant) światła. Daje to możliwość budowy diod LED o praktycznie dowolnej barwie świecenia (długości fali z zakresu promieniowania widzialnego). W praktyce najczęściej wytwarza się diody o barwach, które przedstawiono w tabeli A2.7.

Tabela A2.7.

Najczęściej spotykane barwy emitowane przez diody LED i odpowiadające im długości fal [23]

Barwa	Długość fali
biała	---
granatowa	455 nm
niebieska	470 nm
turkusowa	505 nm
zielona	525 nm
bursztynowa	590 nm
pomarańczowo czerwona	610 nm
czerwona	630 nm

Diody elektroluminescencyjne wytwarzają promieniowanie w bardzo wąskim zakresie widma o szerokości nie przekraczającej kilkunastu nanometrów, są więc w praktyce źródłami światła monochromatycznego. Natomiast światło białe jest wrażeniem wzrokowym, które odczuwa człowiek w wyniku pobudzenia siatkówki oka światłem z całego zakresu promieniowania widzialnego (od 380 nm do 780 nm). Nie jest więc możliwe bezpośrednie uzyskanie światła białego z pojedynczego złącza półprzewodnikowego p-n, mimo to wytwarza się białe diody LED i są one niewątpliwie przyszłością w technice świetlnej.

W sensie technicznym istnieją trzy metody wytwarzania światła białego przez diody świecące. Pierwsza polega na mieszaniu trzech podstawowych barw światła: czerwonej, zielonej i niebieskiej (tzw. RGB – Red Green Blue). Światło z tych diod dodaje się tak, by uzyskać białą barwę. Jest to rozwiązanie o największej wydajności, gdyż nie występują tu straty w luminoforze. Rozwiązanie to daje duże możliwości w zakresie uzyskiwania różnych wartości temperatury barwowej oraz wskaźnika oddawania barw rzędu 80. Natomiast zasadniczą wadą tej metody jest wysoki koszt i skomplikowana konstrukcja układu zasilająco-sterującego, gdyż każda z diod wymaga osobnego obwodu zasilającego ustalającego odpowiedni punkt pracy. Najistotniejsze w tym jest to, że poszczególne diody emitują różną ilość strumienia świetlnego oraz mają też odmienne charakterystyki termiczne i starzeniowe.

Druga metoda wytwarzania światła białego przez diody elektroluminescencyjne polega na wykorzystywaniu promieniowania nadfioletowego wytwarzanego przez diodę do wzbudzenia luminoforu, czyli procesu podobnego do tego jaki jest w świetłówkach. Jest on prostszy niż mieszanie barw z trzech różnych diod, ale jednocześnie mniej wydajny. W praktyce dioda promieniująca w paśmie nadfioletu (UV LED) pokrywa się luminoforem

składającym się z trzech warstw, z których każda realizuje konwersję światła UV na jedną z trzech barw podstawowych. Potem następuje wymieszanie się barw i w efekcie otrzymuje się barwę białą. Rozwiązanie to charakteryzuje się prostą technologią produkcji diody emitującej światło białe i nieskomplikowanym układem zasilania. Jednak ze względu na straty światła w luminoforze, jest ono mało efektywne energetycznie. Metoda ta nie daje możliwości dokładnego kontrolowania temperatury barwowej oraz wskaźnika oddawania barw produkowanych diod.

W trzeciej metodzie połączono zalety obu powyższych rozwiązań. Zastosowano wzbudzenie żółtego luminoforu za pomocą światła diody niebieskiej o długości fali 470 nm (lub granatowej 460 nm). Światło niebieskie jest częściowo przepuszczane, a częściowo pochłaniane poprzez luminofor, który konwertuje je w światło o barwie żółtej (kolor powstający w wyniku sumowania addytywnego barwy czerwonej i zielonej). Następnie dokonuje się mieszanie barw niebieskiej i żółtej, co w efekcie daje barwę białą. Dzięki temu uzyskano białą diodę charakteryzującą się prostotą wykonania i prostym obwodem zasilania, o zwiększonej skuteczności świetlnej oraz nie promieniującą w paśmie UV, co w konsekwencji przesądziło o dużej popularności tego rozwiązania. Wadą jest jednak problem ze stałością parametrów luminoforu w czasie oraz współczynnik oddania barw na poziomie 70 - 90. Istnieje kilka odmian metody hybrydowej. W jednej z nich stosuje się dwuwarstwowy zielono-czerwony luminofor, co pozwala na uzyskanie światła o cieplejszej barwie i wyższym wskaźniku oddawania barw (diody „Warm White”). Dzięki takiej konstrukcji otrzymuje się źródło światła białego, które wymaga mniej złożonego układu zasilania, niż metoda mieszania RGB, a jednocześnie umożliwia sterowanie barwą światła i dobrą skuteczność. Metoda hybrydowa jest najintensywniej rozwijana i najpowszechniej stosowana.

Zalety diod elektroluminescencyjnych deklarowane przez ich producentów:

- a) długa trwałość - długa żywotność urządzenia
- b) odporność na wstrząsy - duża niezawodność
- c) dostępność wielu barwy - brak potrzeby filtrów
- d) małe wymiary i waga - swoboda w projektowaniu
- e) niskie napięcie zasilania - bezpieczeństwo
- f) natychmiastowy ponowny zapłon - możliwości częstego załączania
- g) uzyskanie znamionowego strumienia świetlnego - natychmiast po włączeniu
- h) możliwość płynnej regulacji strumienia świetlnego – optymalny poziom natężenia oświetlenia

i) nie zawierają rtęci - troska o środowisko

j) nie emitują promieniowania nadfioletowego i podczerwonego - bezpieczeństwo

k) nie występuję migotanie - bezpieczeństwo

l) nie przepalają się nagle – w sposób powolny maleje ich strumień świetlny

Producenci nie deklarują wad tych źródeł, chociaż z praktyki wynika, że np. mogą się one nagle przepalić.

Konstrukcje diod elektroluminescencyjnych

Od kilku lat dostępne są na rynku źródła światła oparte na technologii SMD (diody LED o średnicy 3 i 5 mm). Technologia SMD (ang. Surface Mount Device) polega na powierzchniowym montażu specjalnie do tego przystosowanych elementów elektronicznych. Diody te wypierają skutecznie z rynku stare konstrukcje – tzw. diody przewlekane. Zaletami diod SMD jest łatwy montaż, lepszy rozkład ciepła, większa trwałość oraz szeroki kąt świecenia 120°. Ich moc wynosi najczęściej 100 – 200 mW. Związane z małą mocą diod ograniczenia powodują, że w praktyce można je wykorzystać tylko w oświetleniu dekoracyjnym, akcentowym lub jako zamienniki żarówek kolorowych. Przykładowe konstrukcje źródeł ledowych na napięcie sieciowe pokazano na rys. A2.6.



Rys. A2.6. Przykładowe konstrukcje źródeł ledowych na napięcie sieciowe [fot. zbiory autorów]

Nowe wymagania w zakresie efektywności energetycznej źródeł światła LED (dopuszczalna jest wyłącznie klasa energetyczna A) praktycznie wyeliminują starsze technologie diod 3 i 5 mm z zastosowań typowo oświetleniowych.

Od około roku dostępne są już na rynku oświetleniowym źródła ledowe umożliwiające zastąpienie źródeł światła białego. Źródła te obecnie mogą być zamiennikiem żarówek o mocy do 40 W. Pozwalają one na uzyskanie oszczędności energii elektrycznej do 80% w porównaniu do tradycyjnej żarówki przy trwałości 45 razy większej. Firma Philips stosuje w tych źródłach najnowszej generacji diody mocy LUXEON REBEL.

Na rys. A2.7. pokazano dostępne na rynku źródła światła o mocy 7-8 W, które mogą zastąpić tradycyjne żarówki o mocy do 40 W.



Rys. A2.7. Przykładowe ledowe źródła światła - zamienniki tradycyjnych źródeł żarowych
[fot. zbiory autorów]

A3. PRZEGLĄD WYMAGAŃ DOTYCZĄCYCH PARAMETRÓW UŻYTKOWYCH I KRYTERIÓW OCENY ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH Z EMISJAMI ELEKTROMAGNETYCZNYMI URZĄDZEŃ OŚWIETLENIOWYCH

(W ZAKRESIE PROMIENIOWANIA OPTYCZNEGO I PÓŁ ELEKTROMAGNETYCZNYCH)

A3.1. Kryteria oceny zagrożenia fotobiologicznego promieniowaniem optycznym emitowanym przez źródła światła

A3.1.1.Charakterystyka oddziaływania promieniowania optycznego na organizm człowieka

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 [29] poszczególnym zakresom promieniowania optycznego odpowiadają przedstawione w tabeli A3.1 zakresy długości fal.

Nadmierna ekspozycja na promieniowanie optyczne może powodować szereg niekorzystnych efektów biologicznych w odniesieniu do oka i skóry. Biologiczne działanie może wywołać jedynie promieniowanie pochłonięte. Rozróżnia się reakcję fotochemiczną oraz termiczną, czyli wzrost temperatury tkanki. Skutki narażenia na promieniowanie zależą od parametrów fizycznych promieniowania, wielkości pochłoniętej dawki oraz właściwości optycznych i biologicznych ekspozowanej tkanki [51].

Tabela A3.1.

Zakresy promieniowania optycznego.

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

Działanie promieniowania nadfioletowego ma charakter fotochemiczny. Nadmierna ekspozycja skóry na nadfiolet może powodować następujące skutki szkodliwe: rumień skóry, oparzenia, wzrost pigmentacji a przy chronicznej ekspozycji powstawanie zmian przednowotworowych i nowotworowych oraz fotostarzenie skóry. Natomiast promieniowanie nadfioletowe pochłonięte przez oczy może powodować stany zapalne rogówki i spojówki oraz, przy chronicznej ekspozycji, powstawanie zaćmy fotochemicznej, skrzydlika i nowotworów oka. Działanie promieniowania widzialnego (światła) może mieć charakter fotochemiczny lub termiczny. Skutki szkodliwe działania tego promieniowania na organizm człowieka odnoszą się przede wszystkim do oczu, a w szczególności do siatkówki oka. Promieniowanie to, a zwłaszcza tzw. światło niebieskie, o długościach fal z zakresu 400 - 500 nm, może powodować termiczne lub fotochemiczne uszkodzenia siatkówki oka. Działanie promieniowania podczerwonego ma charakter termiczny, co objawia się wzrostem temperatury narażonej tkanki i tkanek sąsiednich, niekiedy i całego organizmu. Skutki szkodliwe działania tego promieniowania na skórę to powstawanie rumienia i oparzenia skóry. Natomiast nadmierne promieniowanie podczerwone wnikające do oka może powodować oparzenia rogówki, uszkodzenia termiczne siatkówki oka oraz przy chronicznej ekspozycji zaćmę podczerwienią (zaćma hutnicza) [51].

A3.1.2. Kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym

Rozporządzenie MPiPS z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [40] oraz dyrektywa 2006/25/WE [6] 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.

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.

Zgodnie z Dyrektywą 2006/25/WE [6] i rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 29 lipca 2010 r. [40] obowiązują następujące wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE):

- ♦ 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 $180 \div 400 \text{ nm}$.

$$E_s = \sum_{180}^{400} E_\lambda \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda \quad (\text{A3.1})$$

$$H_s = E_s \cdot t \quad (\text{A3.2})$$

gdzie:

E_λ – natężenia napromienienia dla długości fali λ

E_s – skuteczne natężenie napromienienia

t – czas całkowitej ekspozycji na promieniowanie w ciągu zmiany roboczej

H_s – skuteczne napromienienie.

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp przyjmuje się zakres widmowy nadfioletu 200-400 nm [30], a we wzorze na wyznaczanie natężenia napromienienia dla zagrożenia nadfioletem aktywnym zmienia się granice sumowania jak przedstawiono w poniższym wzorze:

$$E_s = \sum_{200}^{400} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (\text{A3.3})$$

- ♦ w celu niedopuszczenia do powstania zaćmy UV, dodatkowo ograniczono całkowite nieselektywne (niezależne od długości fali) napromienienie H_{UVA} oczu promieniowaniem pasma 315 ÷ 400 nm do wartości 10 000 J/m² w ciągu zmiany roboczej:

$$E_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (\text{A3.4})$$

$$H_{UVA} = E_{UVA} \cdot t \quad (\text{A3.5})$$

gdzie:

E_{UVA} – całkowite natężenie napromienienia nieselektywnego pasmem 315 ÷ 400 nm,

H_{UVA} – całkowite napromienienie pasmem 315 ÷ 400 nm.

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp E_{UVA} określa się wg tego samego wzoru (A.3.4) dla zagrożenia nadfioletem bliskim [30].

Rozkład widmowy względnej skuteczności biologicznej promieniowania nadfioletowego S_{λ} powodującego powstanie rumienia skóry oraz stanów zapalnych rogówki i spojówki oka wykazuje maksimum dla promieniowania o długości fali ok. 270 nm, a dla promieniowania o długości fali powyżej 320 nm S_{λ} zmniejsza się do wartości bliskich zeru [51].

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} . Obie krzywe osiągają wartości maksymalne dla fal o długości ok. 450 nm [51].

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” [6, 40]). 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 tablicy A3.2 [6, 40].

Tablica A3.2.

Wartości MDE przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka [51].

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

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp, zgodnie z normą [30] do wyznaczania wartości granicznej dla zagrożenia siatkówki światłem niebieskim przyjmuje się czas ekspozycji nie dłuższy niż 10 000 s, zgodnie z pozycją 1 w tabeli A3.2.

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 jasności tj. o luminancji świetlnej większej niż 1 cd/cm^2 ($10\,000 \text{ cd/m}^2$). W zależności od kąta widzenia źródła promieniowania (α) i jednorazowego czasu ekspozycji (t_i) 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 tablicy A3.3 [6, 40].

Tablica A3.3.

Wartości MDE przy ocenie zagrożenia termicznego siatkówki oka promieniowaniem z zakresu 380-1400 nm [6, 40].

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 $\alpha < 1,7 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ $C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100 \text{ mrad}$
2	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$10^{-6} \text{ s} \leq t_i < 10 \text{ s}$	
3	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$t_i < 10^{-6} \text{ s}$	

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp przyjmuje się [30] czas ekspozycji 10 s lub 0,25 s do wyznaczania luminancji energetycznej dla zagrożenia termicznego siatkówki zgodnie z pozycją 1 lub 2 w tabeli A3.3. We wzorach tych przyjmuje się współczynnik $C_\alpha = \alpha$.

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 jedenorazowej ekspozycji i wynoszą odpowiednio [6, 40]:

$$E_{IR} = 18\,000 \, t_i^{-0,75} \, W \cdot m^{-2} \quad \text{gdy czas jedenorazowej ekspozycji } t_i < 1\,000 \text{ s} \quad (A3.6)$$

lub:

$$E_{IR} = 100 \, W \cdot m^{-2}, \quad \text{gdy czas jedenorazowej ekspozycji } t_i \geq 1\,000 \text{ s} \quad (A3.7)$$

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp przyjmuje się [30] czas ekspozycji 1000 s, 100 s lub 10 s oraz odpowiednio stosuje MDE wg (A3.6) i (A3.7) do

wyznaczania natężenia napromienienia dla zagrożenia oka promieniowaniem podczerwonym.

Ocenę obciążenia termicznego skóry należy dokonywać dla całego zakresu 380 - 3000 nm w przypadku, gdy czas jednorazowej ekspozycji $t_i < 10$ s. Wówczas całkowite napromienienie skóry $H_{skóra}$ nie powinno przekraczać wartości określonej równaniem [6, 40]:

$$H_{skóra} = 20\,000 \cdot t_i^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{A3.8})$$

W przypadku oceny zagrożenia fotobiologicznego lamp przyjęto czas ekspozycji 1 s i 10 s oraz ze wzoru (A3.8) wyznaczono natężenie napromienienia dla zagrożenia termicznego skóry.

A3.1.3. Klasyfikacja lamp ze względu na potencjalne zagrożenie fotobiologiczne emitowanym przez nie promieniowaniem optycznym

Norma PN EN [30] zawiera kryteria dla bezpieczeństwa fotobiologicznego lamp, które definiuje jako źródła wykonane w celu wytworzenia promieniowania optycznego. Dodatkowo termin „lampa” jest czasem stosowany do pewnych typów opraw oświetleniowych. Źródła światła są w rozumieniu ww. normy [30] lampami, jednak termin lampy jest pojęciem szerszym i obejmuje inne promienniki promieniowania optycznego. Dlatego w niniejszym rozdziale termin „lampa” występuje tam, gdzie opisywana jest klasyfikacja lamp, zgodnie z nomenklaturą w normie [30].

Źródła światła stosowane do celów oświetleniowych są źródłami promieniowania optycznego i jako takie mogą stanowić o zagrożeniu zdrowia emitowanym przez nie promieniowaniem. Stosowanie źródeł światła przeznaczonych do celów oświetleniowych w nieodpowiedniej od użytkownika odległości może stanowić o potencjalnej szkodliwości dla zdrowia użytkowników. Wówczas stosuje się zapisy rozporządzenia z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne [39]. Uwzględniając fakt, że nie wszystkie źródła światła mogą stanowić w takim samym stopniu o potencjalnym zagrożeniu dla zdrowia. W normie PN EN 62471: 2008 *Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych* [30] zawarta jest klasyfikacja lamp ze względu na bezpieczeństwo fotobiologiczne. W przypadku lamp o działaniu ciągłym, a do takich zalicza się źródła światła przeznaczone do celów oświetleniowych, wyróżnia się cztery grupy ryzyka:

- 1) Grupa wolna od ryzyka
- 2) Grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko)
- 3) Grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko)

4) Grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko).

Opisy i kryteria klasyfikacji do poszczególnych grup przedstawiono poniżej.

1) Grupa wolna od ryzyka

Lampy, które zaklasyfikowane są do grupy wolnej od ryzyka nie stwarzają żadnego zagrożenia fotobiologicznego przedstawionego w normie PN-EN [30] tj. nie stwarzają:

- zagrożenia nadfioletem aktywnym (E_s) w ciągu 8 godzin ekspozycji, ani
- zagrożenia nadfioletem bliskim (E_{UVA}) w ciągu 1 000 s ekspozycji, ani
- zagrożenia siatkówki światłem niebieskim (L_B) w ciągu 10 000 s ekspozycji, ani
- zagrożenia termicznego siatkówki (L_R) w ciągu 10 s, ani
- zagrożenia oka promieniowaniem podczerwonym (E_{IR}) w ciągu 1 000 s

oraz zagrożenia skóry w ciągu 10 s.

2) Grupa ryzyka 1 (niskie ryzyko)

Lampy, które zaklasyfikowane są do grupy niskiego ryzyka nie stwarzają zagrożenia fotobiologicznego z powodu normalnych ograniczeń ekspozycji w warunkach użytkowania. Wymagania to jest spełnione przez każdą lampę, która przekracza granice grupy wolnej od ryzyka, ale która nie stwarza [30]:

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

oraz zagrożenia skóry w ciągu 10 s.

3) Grupa ryzyka 2 (umiarkowane ryzyko)

Lampy, które zaklasyfikowane są do grupy umiarkowanego ryzyka nie stwarzają zagrożenia fotobiologicznego z powodu odruchu awersyjnego oka do bardzo jaskrawych źródeł światła

lub z powodu dyskomfortu termicznego. Wymagania to jest spełnione przez każdą lampę, która przekracza granice grupy ryzyka 1, ale która nie stwarza [30]:

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

oraz zagrożenia skóry w ciągu 1 s.

4) Grupa ryzyka 3 (wysokie ryzyko)

Lampy, które zaklasyfikowane są do grupy wysokiego ryzyka mogą stwarzać zagrożenie fotobiologiczne nawet przy chwilowej lub krótkiej ekspozycji. Lampy, które przekraczają granice grupy ryzyka 2 są zaliczane do grupy ryzyka 3 (wysokie ryzyko) [30].

A3.1.4. Granice emisji dla poszczególnych grup ryzyka lamp

Uwzględniając kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym (rozdz. A3.1.2) oraz kryteria klasyfikacji lamp (rozdz. A3.1.3) wartości graniczne emisji dla poszczególnych grup ryzyka w przypadku rozpatrywania źródeł światła zestawiono w tabeli A3.4. W zestawieniu uwzględniono fakt, że kąty widzenia badanych źródeł światła były większe od 11 mrad, czyli źródła te nie są klasyfikowane jako małe.

Wyznaczone z pomiarów wartości natężenia napromienienia i luminancji energetycznej porównuje się z wartościami granicznymi poszczególnych grup ryzyka dla każdego rodzaju zagrożenia wymienionego w tabeli A3.4. Jako grupę ryzyka danego źródła przyjmuje się grupę, która wskazywała największe zagrożenie fotobiologiczne dla jakiegokolwiek z rodzajów zagrożeń fotobiologicznych.

Tabela A3.4.

Wartości graniczne emisji dla badanych źródeł światła (na podstawie [30]).

Rodzaj zagrożenia fotobiologicznego	Zakres widmowy, nm	Funkcja skuteczności biologicznej	Symbol	Wartości graniczne emisji			Jednostka
				Grupa wolna od ryzyka	Grupa ryzyka 1	Grupa ryzyka 2	
Aktyczne promieniowanie m UV	200 - 400	S_{λ}	E_s	0,001	0,003	0,03	$W \cdot m^{-2}$
Bliskim UV	315 - 400	—	E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
Światłem niebieskim	300 - 700	B_{λ}	L_B	100	10 000	4 000 000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Termiczne siatkówki oka	380 – 1400	R_{λ}	L_R	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$71000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Termiczne rogówki i soczewki oka promieniowanie m IR	780 – 3000	—	E_{IR}	100	570	3200	$W \cdot m^{-2}$
Termiczne skóry*	380 – 3000	—	E_H	20000		35566	$W \cdot m^{-2}$

* Norma PN EN [30] jakkolwiek wspomina o takim zagrożeniu, to nie określa dla niego wymagań wartości granicznych. Autorzy przyjęli wartości graniczne z przedziału 1 – 10 s.

A3.2. Charakterystyka oraz wymagania dotyczące parametrów użytkowych źródeł światła

Do parametrów użytkowych źródeł światła stanowiących zamienniki żarówek zalicza się: moc źródła i odpowiadającą, temu samemu strumieniowi świetlnemu, moc tradycyjnej żarówki, strumień świetlny, trwałość oraz temperaturę barwową i wskaźnik oddawania barw. Dane te producenci podają na opakowaniu źródła. Natomiast danych dotyczących zagrożenia fotobiologicznego związanego z emisją promieniowania optycznego (jak np. nazwę grupy ryzyka zagrożenia fotobiologicznego) producenci nie podają, ani na swoich wyrobach, ani w katalogach. W przypadku źródeł reflektorowych nie podaje się wartości strumienia świetlnego tylko wartość światłości. Jednak w przeważającej większości tego typu źródeł, producent nie podaje wartości tego parametru na opakowaniu, a należy go szukać w odpowiednim katalogu.

Opisy i wymagania dla podstawowych parametrów użytkowych źródeł światła przedstawiono poniżej:

- **Moc źródła [W]**, jest to moc jaką pobiera rozpatrywane źródło światła z sieci zasilającej. W przypadku żarówek oraz halogenów jest to ta sama wartość, którą można zmierzyć na zaciskach oprawki. Natomiast w przypadku świetlówek kompaktowych oraz źródeł ledowych na moc całkowitą składa się moc źródła oraz moc tracona w układzie zapłonowym. W tym przypadku producenci podają już moc sumaryczną danego źródła.
- **Moc odpowiadająca mocy tradycyjnej żarówki [W]**. Jest to wartość szacunkowa, która świadczy o stopniu energooszczędności danego źródła. W przypadku świetlówek z nieosłoniętymi rurkami można przyjąć, że są one pięć razy bardziej energooszczędne niż żarówki. Gdy szklane rurki świetlówek będą osłonięte dodatkową opalizowaną bańką wówczas wartość ta będzie nieco mniejsza. W tabeli A3.5 podano moce dostępnych handlowo świetlówek z nieosłoniętymi rurkami i odpowiadające im moce żarówek.

W przypadku stosowania żarówek halogenowych zamiast tradycyjnych żarówek można zaoszczędzić około 30% energii. Natomiast stosując żarówki halogenowe nowej generacji można zaoszczędzić nawet 60% energii. W przypadku źródeł ledowych moc źródła ledowego w stosunku do mocy odpowiadającej mu żarówki jest około 4 do 7 razy mniejsza.

Tabela A3.5.

Zestawienie mocy świetlówek z nieosłoniętymi rurkami i odpowiadających im mocy żarówek.

Moc świetlówki [W]	Moc żarówki odpowiadająca mocy świetlówki [W]
11	60
15	75
18	90
20	100
23	125
27	140
33	175

- **Strumień świetlny (znamionowy) [lm]** - jest to całkowita ilość światła emitowana z danego źródła, deklarowana przez wytwórcę, przy zachowaniu określonych warunków jego pracy.
- **Skuteczność świetlna (η) [lm/w]** jest miarą efektywności źródeł światła. Jest to stosunek wysyłanego strumienia świetlnego do pobieranej mocy (z uwzględnieniem strat w układzie stabilizacyjno-zapłonowym, gdy jest on niezbędny do normalnej pracy lampy). Wartość tego parametru świadczy o zużyciu energii elektrycznej. Im jest on większy, tym dane źródło światła jest bardziej energooszczędne. Odzwierciedleniem wartości skuteczności świetlnej jest klasa efektywności energetycznej – im dane źródło ma ją bliżej litery A tym jest bardziej energooszczędne.
- **Trwałość** – określana jest przez producentów w godzinach lub latach. Określona jest ona czasem świecenia źródła do chwili jego wygaśnięcia lub, kiedy przestało ono spełniać wymagania dotyczące wartości emitowanego strumienia świetlnego zawarte w odpowiednich normach. Tak określona trwałość nazywana jest trwałością użyteczną. Występuje jeszcze trwałość deklarowana - określana przez producenta. Najczęściej jest ona większa od trwałości użytecznej. Oczywiście, im wartość trwałości jest większa, tym lepiej, ale wówczas za takie źródło więcej zapłacimy. W przypadku źródeł ledowych parametr ten nie został jeszcze zdefiniowany. Przewiduje się, że nastąpi to w 2012 r. [26].
- **Wskaźnik oddawania barw (R_a)** jest wartością niemianowaną. Jest on miarą stopnia zgodności wrażenia barwy obiektu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego obiektu oświetlonego źródłem odniesieniowym w określonych

warunkach. Maksymalna wartość tego wskaźnika wynosi 100. Przyjmuje się ją dla światła słonecznego i źródeł żarowych. Im wartość tego wskaźnika jest bliższa 100, tym dane źródło światła charakteryzuje się lepszą zdolnością oddawania barw. W związku z tym, ważny jest dobór źródła światła o odpowiednim stopniu oddawania barw do danego rodzaju pracy. Dokładność oddawania barw można ocenić jako [25]:

- bardzo dużą $100 > R_a \geq 90$

- dużą $90 > R_a \geq 80$

- średnią $80 > R_a \geq 60$

Źródła, które będą stosowane w biurach powinny mieć wartość tego wskaźnika ≥ 80 [25]. Pozostałe wymagania szczegółowe dotyczące zastosowań źródeł światła do oświetlania różnego rodzaju pomieszczeń i stanowisk pracy zawarte są w normie PN-EN 12464-1:2004. Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń [31]. W przypadku oświetlania lokali mieszkalnych zalecane jest stosowanie źródeł światła o wskaźniku oddawania barw ≥ 80 .

- **Temperatura barwowa najbliższa (T_c) [K]**. Definiowana jest ona jako temperatura bezwzględna ciała czarnego, które promieniuje światło o tej samej lub prawie tej samej chromatyczności co dane źródło światła. Temperatura barwowa najbliższa współczesnych źródeł światła zawarta jest w przedziale od około 2 500 K do 6 500 K. Źródła, które emitują białą barwę światła, można podzielić, w zależności od temperatury barwowej najbliższej, na trzy grupy [25]:

- $T_c \geq 5\,300\text{ K}$ - barwa: **zimna**, (dzienna, chłodnobiała)

- $5\,300\text{ K} > T_c \geq 3\,300\text{ K}$ - barwa: **pośrednia**,

- $T_c < 3\,300\text{ K}$ - barwa: **ciepła**, (ciepłobiała).

Źródła światła o świetle zimnym mają rozkład widmowy zbliżony do światła dziennego. Źródła o pośredniej barwie światła mają zmniejszony niebieski zakres widma, natomiast źródła o barwie światła cieplej emitują większość światła w żółtoczerwonej części widma względem źródeł o barwie zimnej.

Przy doborze barwy światła, ogólną zasadą jest stosowanie światła o barwie cieplejszej w pomieszczeniach, w których ważny jest komfort np. w biurach, pomieszczeniach rekreacyjnych oraz mieszkaniach. Natomiast światło o chłodnej barwie należy stosować tam, gdzie wymagane są wysokie poziomy natężenia oświetlenia (powyżej 750 lx).

Do grupy parametrów użytkowych źródeł światła można jeszcze zaliczyć **klasę efektywności energetycznej**. Jest to skala, która określa energooszczędność urządzenia. Zaczyna się ona od litery A określającej urządzenia najbardziej energooszczędne, a kończy na literze G dla sprzętów najmniej energooszczędnych. Klasy efektywności energetycznej omówiono w rozdz. A2.1.

Na opakowaniach nielicznych źródeł światła podawane są jeszcze dwa parametry, które również można zaliczyć do grupy użytkowych:

- **minimalna ilość cykli włącz / wyłącz**; informacja ta jest szczególnie ważna w przypadku świetlówek kompaktowych. Liczba tych cykli dla standardowych świetlówek kompaktowych wynosi 3000 – 6000. W związku z tym nie powinno się ich instalować w miejscach, w których będzie się je zapalać dość często, czyli częściej niż średnio trzy razy dziennie, np. w toalecie lub na korytarzu z czujnikami ruchu, gdyż częste zapalanie może znacznie skrócić trwałość podaną na opakowaniu. Natomiast w przypadku źródeł ledowych oraz żarówek halogenowych liczba cykli włącz / wyłącz nie ma wpływu na ich trwałość.

Spośród badanych źródeł światła, producenci tylko dla sześciu podali ten parametr. Wynosił on, 3 000, 5 000 oraz 20 000 i 50 000 cykli.

- **czas nagrzewania** – jest to czas po którym dane źródło osiąga określoną wartość strumienia świetlnego. Informacja ta jest szczególnie ważna dla świetlówek kompaktowych. Standardowa świetlówka kompaktowa potrzebuje nieco więcej czasu, aby się nagrzać i osiągnąć znamionowy strumień świetlny, niż w przypadku źródeł ledowych oraz żarówek halogenowych. W praktyce dla świetlówek kompaktowych wynosi on do 2 sekund na zapalenie i do 60 sekund na osiągnięcie 60% swojego strumienia świetlnego. Jednak ten parametr nie jest określany przez wszystkich producentów jednakowo. W dwóch przypadkach badanych źródeł światła deklarowany czas odnosił się do momentu osiągnięcia przez źródło 60% znamionowego strumienia świetlnego i wynosił 60 s i 120 s, w innym do 70%, a w pozostałych nie podano w ogóle wartości strumienia.

Dla celów niniejszego opracowania autorzy przyjęli dodatkowy parametr użytkowy jakim jest **odległość źródła od układu wejściowego spektrometri, przy której źródło światła zapewnia natężenie oświetlenia o wartości około 500 lx (d_{500lx})**. Wynika to z metodyki stosowanej przy klasyfikacji źródeł światła do grup ryzyka ze względu na zagrożenie fotobiologiczne [30]. Wartość tego parametru może wskazywać na możliwość zastosowania badanego źródła w oprawach oświetlenia miejscowego, ogólnego lub akcentowego. Autorzy

przyjęli następujące kryteria zastosowania badanego źródła w zależności od wartości parametru d_{500lx} :

- $d_{500lx} \leq 0,3$ m - oświetlenie akcentowe
- $0,3 < d_{500lx} \leq 0,5$ m - oświetlenie miejscowe
- $0,5$ m $< d_{500lx}$ - oświetlenie ogólne lub zlokalizowane.

Wartość graniczną 0,5 m przyjęto dla źródeł stosowanych do oświetlenia miejscowego ze względu na:

- ograniczenie ośnienia bezpośredniego od źródeł światła o bardzo dużej luminancji świetlnej (znacznie przekraczającej wartość 10 000 cd/m²),
- ograniczenie potencjalnie dużych kontrastów pomiędzy plamą świetlną źródła zamontowanego w oprawie miejscowej, a otaczającym ją tłem; dotyczy to szczególnie źródeł, których d_{500lx} osiąga wartości powyżej 1 m,
- zapewnienie doświetlenia pola zadania do wymaganego wysokiego poziomu natężenia oświetlenia za pomocą jednego źródła światła.

Wartość graniczną 0,3 m przyjęto dla źródeł stosowanych do oświetlenia akcentowego ze względu na:

- emitowanie przez źródła światła małego strumienia świetlnego, który zapewnia małe poziomy natężenia oświetlenia w standardowej odległości źródła od oświetlanego pola zadania (co dyskwalifikuje je jako efektywne energetycznie do oświetlenia ogólnego lub miejscowego)
- uzyskanie małej plamy świetlnej (przy małej odległości źródła od powierzchni oświetlanej), która nie oświetli całego nawet pola zadania (jak np. kartka papieru wymiaru A4).

Źródła światła, które zapewniają natężenie oświetlenia o wartości około 500 lx z odległości przekraczającej 0,5 m należy stosować w oprawach oświetlenia ogólnego.

A3.3. Kryteria oceny zagrożenia promieniowaniem elektromagnetycznym emitowanym przez urządzenia oświetleniowe

A3.3.1. Właściwości pól elektromagnetycznych i ich oddziaływanie na ludzi i elementy środowiska pracy

Widmo elektromagnetyczne obejmuje pola i promieniowania o różnych częstotliwościach i właściwościach biofizycznych: pole elektromagnetyczne i promieniowanie optyczne, które są promieniowaniem niejonizującym, oraz promieniowanie rentgenowskie, gamma i kosmiczne, które są promieniowaniem jonizującym.

Terminem "***pola i promieniowanie elektromagnetyczne***" określa się pola i promieniowanie o częstotliwościach nie przekraczających 300 GHz (tj. 300 000 000 000 Hz). Występują one przy źródłach pola i promieniowania elektromagnetycznego emitujących fale o długości większej niż 1 mm, nierejestrowane bezpośrednio przez zmysł wzroku człowieka i niewywołujące jonizacji ośrodka, przez który przechodzą.

Termin "***pola i promieniowanie elektromagnetyczne***" często używa się w formie skróconej „***pola elektromagnetyczne***” lub „***promieniowanie elektromagnetyczne***” [15].

Pole elektromagnetyczne jest tworzone przez dwie składowe: pole elektryczne i magnetyczne występujące w określonym miejscu.

Pola elektromagnetyczne są czynnikiem występującym w środowisku w związku z wykorzystywaniu energii elektrycznej we wszystkich obszarach działalności człowieka.

Do scharakteryzowania parametrów pól elektromagnetycznych, występujących w otoczeniu emitującego je urządzenia, stosowane są następujące wielkości:

- **natężenie pola elektrycznego, E** - wielkość wektorowa, wyrażana w woltach na metr (V/m), charakteryzująca pole elektryczne występujące w przestrzeni wokół ładunków elektrycznych
- **natężenie pola magnetycznego, H** - wielkość wektorowa, wyrażana w amperach na metr (A/m), charakteryzująca pole magnetyczne, występujące w przestrzeni w otoczeniu przewodników, w których przepływa prąd elektryczny
- **częstotliwość** – wielkość charakteryzująca zmienność w czasie wybranej wielkości charakteryzującej pole, wyrażana w hercach (Hz).

Do scharakteryzowania pól magnetostatycznych lub magnetycznych małych częstotliwości stosowana jest często wielkość alternatywna dla natężenia pola magnetycznego - indukcja magnetyczna wyrażona najczęściej w teslach (T) i w jej podwielokrotnościach: nanoteslach (nT), mikrotteslach (μ T) i militeslach (mT). Najczęściej w praktyce wykorzystywana jest

zależność: pole magnetyczne o natężeniu 1 A/m ma w powietrzu indukcję magnetyczną o wartości ok. 1,25 μ T.

Pole magnetyczne jest proporcjonalne do natężenia wywołującego je prądu, a pole elektryczne związane jest z różnicą potencjału elektrycznego obiektów (tzn. Jest proporcjonalne do napięcia elektrycznego).

Poziom oddziaływanie pola elektromagnetycznego zarówno na ludzi, jak i na materialne środowisko pracy zależy w pierwszym rzędzie od częstotliwości pola elektromagnetycznego. W związku z tym kryteria oceny zagrożeń są funkcją częstotliwości ocenianego pola elektromagnetycznego. Z tego powodu ustalenie częstotliwości pól elektromagnetycznych oddziałujących na pracowników jest jednym z głównych elementów rozeznania czynników występujących na stanowisku pracy. Rozeznanie takie wykonywane jest na podstawie znajomości podstaw technicznych funkcjonowania urządzeń, ich dokumentacji lub specjalistycznych pomiarów.

Poziom zagrożeń elektromagnetycznych narażonych pracowników zależy również od polaryzacji i rozkładu przestrzennego pola w stosunku do ciała człowieka, zmienności narażenia w czasie oraz od stosunku wielkości natężenia pola elektrycznego do natężenia pola magnetycznego. Parametry takie są przedmiotem pomiarów pól elektromagnetycznych w środowisku pracy, jakie prowadzone są zgodnie z wymaganiami prawa pracy [45].

Istotnym czynnikiem determinującym skutki oddziaływania pola elektromagnetycznego są również właściwości elektryczne narażonych obiektów, charakteryzowane najczęściej przewodnością i pojemnością elektryczną w układzie pracownik - obiekty uziemione elektrycznie.

Pole elektromagnetyczne może wpływać na ludzi oddziałując bezpośrednio na organizm ekspozowanego człowieka. Z reguły pola elektromagnetyczne nie są rejestrowane zmysłami człowieka.

W organizmie człowieka przebywającego w polu elektromagnetycznym występuje pole magnetyczne oraz zaindukowane pole elektryczne i związane z nim indukowane prądy elektryczne. Wskutek ich oddziaływania w organizmie ekspozowanego człowieka może występować:

- pobudzenie tkanki nerwowej lub mięśniowej (w przypadku oddziaływania pól o częstotliwościach nie przekraczających kilku megaherców)
- wzrost temperatury tkanek (w przypadku oddziaływania pól o częstotliwościach mega- lub gigahercowych) [14, 36].

Skutkiem bezpośredniego oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi mogą być niepożądane zmiany funkcjonowania organizmu człowieka (czasowe lub trwałe).

Oprócz wymienionego działania bezpośredniego może występować także pośrednie oddziaływanie pól elektromagnetycznych na ludzi przejawiając się głównie jako prądy kontaktowe przepływające przez ciało człowieka dotykającego obiektu metalowego, który wskutek oddziaływania pola ma inny potencjał elektryczny. Skutki oddziaływania prądów kontaktowych zależą od częstotliwości i są zbliżone do skutków oddziaływania prądów indukowanych.

Pole elektromagnetyczne może stwarzać zagrożenie dla ludzi także na skutek oddziaływania na infrastrukturę techniczną, takiego jak:

- zakłócenia pracy automatycznych urządzeń sterujących
- uszkodzenia magnetycznych nośników pamięci
- pożary i eksplozje, występujące wskutek m.in. indukowania przez pola elektromagnetyczne prądów elektrycznych przepływających w urządzeniach.

Zarówno prądy indukowane, jak i kontaktowe przepływające w organizmie mogą również zakłócać pracę aktywnych implantów medycznych, takich jak stymulatory serca, bądź oddziaływać na funkcjonowanie w organizmie implantów mechanicznych.

Badania naukowe prowadzone na świecie, m.in. pod patronatem WHO, nie rozstrzygnęły dotychczas w jakim stopniu wieloletnia, chroniczna ekspozycja na pola elektromagnetyczne może zwiększać zagrożenie wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych, takich jak zaburzenia układu nerwowego, krwionośnego, odpornościowego lub zmiany nowotworowe, a także występowanie objawów nietolerancji oddziaływań środowiskowych, tzw. nadwrażliwości elektromagnetycznej [11, 12, 37, 48].

A3.3.2. Zagrożenia zdrowia związane z ekspozycją na pola elektromagnetyczne w odniesieniu do źródeł światła

Na potrzeby rozważań dotyczących zagrożeń związanych z polami elektromagnetycznymi emitowanymi przez źródła światła, o częstotliwościach małych lub średnich (z reguły zawierających się w przedziale do ok. 1 MHz), należy uwzględnić w pierwszym rzędzie wnioski płynące z badań epidemiologicznych dotyczących oceny skutków wieloletniej ekspozycji ludzi na pola elektromagnetyczne instalacji elektroenergetycznych [11, 12, 37, 50]. Badania epidemiologiczne z tego zakresu dotyczyły przede wszystkim działania

rakotwórczego pola elektromagnetycznego, ale analizowano także wpływ ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości przemysłowej na poziom ryzyka zachorowania na choroby neurodegeneratywne, na funkcjonowanie układu krążenia i na funkcje rozrodcze człowieka. Jak dotychczas dla wymienionych skutków zdrowotnych nie wypracowano spójnej bazy danych, umożliwiającej określenie zależności funkcyjnej między poziomem ryzyka poszczególnych rodzajów zachorowań a parametrami charakteryzującymi poziom oddziaływania pól elektromagnetycznych na ludzi. Wśród opublikowanych wyników badań naukowych istnieją zarówno badania potwierdzające, jak i przeczące wzrostowi częstotliwości zachorowań w miarę wzrastającego poziomu narażenia. Podkreślić jednak należy, że wyniki badań również nie wykluczyły związku wymienionych zachorowań z oddziaływaniem pola..

Analizy wyników przeprowadzonych badań wykazały, że u dzieci przebywających stale w mieszkaniach o indukcji magnetycznej przekraczającej 0,3 - 0,4 mikrotlesli (μT) dochodzi do 2-krotnego wzrostu zachorowań na niektóre postacie białaczek [11, 12, 37, 48, 50]. Opublikowano również prace wskazujące na zwiększone ryzyko chorób nienowotworowych wśród osób długotrwale narażonych, np. zawodowo [37, 48, 50]. Dotychczas nie wykazano jednak, czy pole magnetyczne jest czynnikiem przyczynowym tych obserwacji. Pola magnetyczne o ww. poziomach mogą występować w bezpośredniej bliskości urządzeń elektrycznych eksploatowanych w pomieszczeniach pracy, także w otoczeniu nowo wprowadzanych źródeł oświetleniowych.

W świetle monograficznych opracowań organizacji międzynarodowych takich jak IARC'2002, WHO'2007, SCENIHR [11, 48, 50], odnoszących się do zagrożeń zdrowia związanych z ekspozycją na pola elektromagnetyczne instalacji energetycznych, związek zachorowań z narażeniem na pola elektromagnetyczne jest identyfikowany jedynie w statystycznych danych epidemiologicznych, odnoszących się do licznych grup ludzi np. zamieszkujących w otoczeniu linii energetycznych, bez konkluzji dotyczących indywidualnych osób.

Na podstawie metaanaliz z dostępnych ograniczonych dowodów z badań epidemiologicznych Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) w roku 2002 sklasyfikowała pola magnetyczne małej częstotliwości do czynników przypuszczalnie rakotwórczych (grupa 2B), a pole elektryczne do czynników, których nie można sklasyfikować pod względem działania rakotwórczego (grupa 3) [11].

Biorąc pod uwagę wspomniane dane naukowe Parlament Europejski zalecił w 2008 roku by w celu zmniejszenia szkodliwych skutków środowiskowych dla zdrowia Komisja Europejska zachęciła państwa członkowskie Unii Europejskiej do pobudzania podmiotów działających na rynku do poprawy jakości powietrza wewnątrz budynków oraz ograniczenia

narażenia na pola elektromagnetyczne w budynkach [38]. Uzasadnione jest to szczególnie w przypadku ekspozycji trwających przez wiele godzin dziennie i przez długie lata (chronicznie), jak to ma miejsce na stanowiskach pracy przy urządzeniach stale pracujących, jak np. źródła światła wykorzystywane w okresie jesienno-zimowym praktycznie przez całą zmianę roboczą.

Dane z badań środowiskowych [37] wykonanych w różnych krajach europejskich, takich jak Austria, Niemcy, Szwajcaria, Wielka Brytania wskazują, że w budynkach mieszkalnych indukcja magnetyczna pola magnetycznego o częstotliwości przemysłowej jest zwykle w przedziale od 0,01 μT do 0,1 μT , a natężenie pola elektrycznego nie przekracza 100 V/m. Jedynie w ok. 2 % budynków indukcja magnetyczna pola magnetycznego o częstotliwości przemysłowej przekracza 0,2 μT . Poziomy ekspozycji powyżej tych wartości można sklasyfikować jako zawyżone w stosunku do ekspozycji zdecydowanej większości populacji. Z innych opracowań wynika, że poziom ekspozycji w budynkach mieszkalnych jest porównywalny z poziomem ekspozycji w typowych pomieszczeniach pracy biurowej,

W aspekcie wyników badań epidemiologicznych o możliwych zagrożeniach zdrowia związanych z wieloletnią ekspozycją na stosunkowo słabe pola magnetyczne małej częstotliwości w niektórych krajach europejskich (np. Austrii, Włoszech, Szwajcarii, Szwecji) wprowadzono dodatkowe ustalenia związane z zasadą ostrożności dotyczące ograniczania narażenia do poziomu nie przekraczającego wartości 1-3 μT [54].

A3.3.3. Kryteria oceny zagrożeń elektromagnetycznych

Zgodnie z przyjętą w przepisach prawa pracy zasadą dopuszczalności narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne, ekspozycja zawodowa nie powinna prowadzić do wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych u pracownika, w czasie jego wieloletniej aktywności zawodowej. Zapewnienie właściwego poziomu ochrony zdrowia pracowników jest szczególnie istotne w aspekcie aktualnych hipotez naukowych o możliwych negatywnych skutkach ekspozycji chronicznej (np. sklasyfikowanie pól magnetycznych małych częstotliwości jako czynnika prawdopodobnie rakotwórczego, prawdopodobne skutki neurodegeneracyjne ekspozycji chronicznej, prawdopodobne zaburzenia funkcjonowania układu krążenia wskutek ekspozycji chronicznej). W związku z tym ekspozycja pracowników powinna być nadzorowana i ograniczana w myśl postanowień krajowych przepisów BHP.

Zasady dopuszczalnej ekspozycji zawodowej w polach elektromagnetycznych z pasma częstotliwości 0 Hz ÷ 300 GHz zostały ustalone w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki

Spółecznej z dnia 29.11.2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [DzU nr 217, poz. 1833, 2002]. Część E „Pola i promieniowanie elektromagnetyczne 0 Hz – 300 GHz” [41]. W rozporządzeniu tym ustalono następujące zasady ekspozycji pracowników w polach elektrycznych i magnetycznych:

1. Określono dopuszczalną ekspozycję zawodową w polach elektrycznych i magnetycznych, wyróżniając w całym zakresie częstotliwości (0 Hz ÷ 300 GHz) 3 strefy ochronne pola – pośrednią, zagrożenia i niebezpieczną oraz obszar poza strefami ochronnymi zwany strefą bezpieczną.

Zasady ekspozycji zawodowej w polach stref ochronnych zdefiniowano następująco:

- **w polach strefy bezpiecznej** przebywanie pracowników jest dozwolone bez ograniczeń czasowych
- **w polach strefy pośredniej** mogą przebywać pracownicy zatrudnieni przy źródłach pól w czasie jednej 8-godzinnej zmiany roboczej
- **w polach strefy zagrożenia** pracownicy mogą przebywać przez czas krótszy od 8 godzin na dobę, tak aby przebywanie w polach występujących na stanowisku pracownika wynikające ze specyfiki pracy źródła pola i jego obsługi nie spowodowało wskaźnika ekspozycji pracownika przekraczającego wartość dopuszczalną
- **w polach strefy niebezpiecznej** przebywanie pracowników jest zabronione (z wyjątkiem stosowania środków ochrony osobistej).
- stosowania środków ochrony osobistej).

Zasady szacowania wskaźnika ekspozycji pracownika w polach strefy zagrożenia podaje Polska Norma PN-T-06580:2002 [32, 33].

W polach stref ochronnych mogą przebywać wyłącznie pracownicy, u których w wyniku przeprowadzonych badań lekarskich stwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do ekspozycji zawodowej w polach elektromagnetycznych. Pracownicy ci podlegają również obowiązkowym szkoleniom z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach będących źródłami pól elektromagnetycznych stref ochronnych. Jest to tzw. ekspozycja zawodowa.

Pozostali pracownicy powinni przebywać w polach strefy bezpiecznej. Jest to tzw. ekspozycja pozazawodowa.

2. Wyróżniono trzy graniczne wartości natężenia pola elektrycznego E_0 , E_1 , E_2 i magnetycznego H_0 , H_1 , H_2 (alternatywą dla natężenia pola magnetycznego są wartości

graniczne indukcji magnetycznej B_0 , B_1 , B_2), określone dla poszczególnych częstotliwości odnośnie działania ogólnego na całe ciało pracownika. Między wartościami granicznymi obowiązują następujące zależności:

- E_0 i H_0 (B_0) – natężenie pola (indukcja) rozgraniczające pola strefy pośredniej i strefy bezpiecznej – $E_0 = E_1/3$; $H_0 = H_1/3$; ($B_0 = B_1/3$) [ekspozycja bez ograniczeń czasu jej trwania]
- E_1 i H_1 (B_1) – natężenie pola (indukcja) rozgraniczające pola strefy zagrożenia i strefy pośredniej – podane w tabelach 8 i 9 rozporządzenia [ekspozycja dopuszczalna do 8 godzin na zmianę roboczą]
- E_2 i H_2 (B_2) – natężenie pola (indukcja) rozgraniczające pola strefy niebezpiecznej i strefy zagrożenia – $E_2 = 10 E_1$; $H_2 = 10 H_1$; ($B_2 = 10 B_1$) [granica ekspozycji zabronionej].

W tabelach A3.6-A3.8 zestawiono wartości: natężenia pola elektrycznego E_0 , E_1 i E_2 i indukcji magnetycznej B_0 , B_1 i B_2 dla ekspozycji całego ciała pracownika – wyznaczone na podstawie rozporządzenia, dla zakresu częstotliwości pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez badane źródła światła.

Tabela A3.6.

Wartości indukcji magnetycznej i natężenia pola elektrycznego dla ekspozycji zawodowej na granicy między strefą bezpieczną i pośrednią [41].

Zakres częstotliwości	Granica pomiędzy strefą bezpieczną i pośrednią - ekspozycja bez ograniczenia czasu jej trwania	
	Indukcja magnetyczna B_1 [μ T]	Natężenie pola elektrycznego E_1 [V/m]
0 Hz pole magnetostatyczne	3333	10000
$0,5 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	83,3	5000
$50 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	$12500/f$	5000
$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$12,5/3f$	$100/3f$
$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	4,1	33,3

gdzie f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie „Zakres częstotliwości”

Tabela A3.7.

Wartości indukcji magnetycznej i natężenia pola elektrycznego dla ekspozycji zawodowej na granicy między strefą pośrednią i zagrożenia [41].

Zakres częstotliwości	Granica pomiędzy strefą pośrednią i zagrożenia - ekspozycja dopuszczalna do 8 godzin w ciągu doby (NDN pól elektromagnetycznych)	
	Indukcja magnetyczna B_1 [μT]	Natężenie pola elektrycznego E_1 [V/m]
0 Hz pole magnetostaticzne	10000	20000
$0,5 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	250	10000
$50 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	$12500/f$	10000
$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$12,5/f$	$100/f$
$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	12,5	100

gdzie f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie „Zakres częstotliwości”

Tabela A3.8.

Wartości indukcji magnetycznej i natężenia pola elektrycznego dla ekspozycji zawodowej na granicy strefy niebezpiecznej [41].

Zakres częstotliwości	Granica strefy niebezpiecznej - ekspozycja zabroniona	
	Indukcja magnetyczna B_2 [μT]	Natężenie pola elektrycznego E_2 [V/m]
0 Hz pole magnetostaticzne	100000	40000
$0,5 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	2500	20000
$50 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	$125000/f$	20000
$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$125/f$	$1000/f$
$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	125	1000

gdzie f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie „Zakres częstotliwości”

Oдноśnie pracowników młodocianych i kobiet w ciąży nie jest dopuszczalna ekspozycja w polach stref ochronnych – powinni oni przebywać tylko w polach strefy bezpiecznej (tak jak ekspozycja pozazawodowa) [46, 47].

Poziom ekspozycji pozazawodowej jest zbliżony do poziomu ekspozycji dopuszczalnej dla ogółu ludności. Wartości dopuszczalne dla ekspozycji ogółu ludności podano w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów [43]. Dopuszczalne wartości natężenia pola

elektrycznego i magnetycznego (indukcji magnetycznej) w miejscach dostępnych dla ludności według rozporządzenia podano w tabeli A3.9.

Tabela A.3.9.

Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego i indukcji magnetycznej w miejscach dostępnych dla ludności [43].

Zakres częstotliwości	Dopuszczalne wartości	
	Natężenie pola elektrycznego E_0 [V/m]	Indukcja magnetyczna B_0 [μ T]
0 Hz pole magnetostatyczne	10000	3125
0 Hz < $f \leq 0,5$ Hz	nie określono	3125
0,5 Hz < $f \leq 50$ Hz	10000	75
0,05 kHz < $f \leq 1$ kHz	nie określono	3,75/ f
od 0,001 MHz do 3 MHz	20	3,75

gdzie: f – częstotliwości w jednostkach podanych w kolumnie „Zakres częstotliwości”.

Do oceny emisyjności promieniowania elektromagnetycznego źródeł oświetlenia, biorąc pod uwagę charakter ich stosowania i warunków ekspozycji pracowników, należy wykorzystać również wymagania ustanowione dla różnorodnego elektrycznego wyposażenia biurowego np. wymagania szwedzkie TCO [54] dotyczące sprzętu komputerowego (monitorów ekranowych). Wymagania te nie mają charakteru dopuszczalnych wartości w stosunku do ekspozycji ludzi, natomiast mogą być użyte jako kryteria oceny urządzeń ze względu na wytwarzane pola elektromagnetyczne. Wartości dopuszczalne określone przez TCO dla sprzętu komputerowego przyjęto przy założeniu, że eksploatacja urządzeń elektrycznych znajdujących się w pobliżu pracownika nie powinna powodować wprowadzenia do środowiska niepotrzebnego czynnika jakim są pola elektromagnetyczne.

Zgodnie z wymaganiami TCO [54] w odległości 50 cm od sprzętu komputerowego indukcja magnetyczna i natężenie pola elektrycznego muszą spełniać następujące warunki:

- indukcja pola magnetycznego:
 - z pasma 5 Hz – 2 kHz (ELF) $B \leq 0,2 \mu\text{T}$
 - z pasma 2 kHz – 400 kHz (VLF) $B \leq 0,025 \mu\text{T}$
- natężenie pola elektrycznego:
 - z pasma 5 Hz – 2 kHz (ELF) $E \leq 10 \text{ V/m}$
 - z pasma 2 kHz – 400 kHz (VLF) $E \leq 1 \text{ V/m}$.

Wymagania stawiane przez TCO są bardzo rygorystyczne, ich spełnienie jest jednoznaczne ze spełnieniem z dużym zapasem wymagań dotyczących dopuszczalnej ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne, ustalonych w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie NDS i NDN [41].

Zgodnie z danymi z badań środowiskowych zaprezentowanymi w rozdziale A3.3.2. typowy, normalny poziom pola magnetycznego małej częstotliwości w pomieszczeniach (0,1-0,2 μT) jest zbliżony z wartością graniczną indukcji magnetycznej według zaleceń TCO (0,2 μT).

W oparciu o wymagania krajowych przepisów prawa pracy i wartości graniczne dla wymienionych wcześniej stref ochronnych pola elektromagnetycznego [41] oraz wymagania TCO [53] przyjęto 5-stopniowe kryteria oceny objętych badaniami źródeł światła ze względu na emisję pola elektromagnetycznego (tabela A3.10.). Poziom 0 odpowiada najostrzejszym kryteriom i najniższej emisyjności, ustalonym ze względu na potrzebę wyróżnienia źródeł wprowadzających do środowiska pól elektromagnetycznych podnoszących poziom narażenia powyżej poziomu charakterystycznego dla typowych pomieszczeń biurowych – jako kryterium dla tego poziomu wybrano wymagania TCO potwierdzające brak występowania zagrożeń elektromagnetycznych w otoczeniu danego źródła światła.

Wartości graniczne przyjęte dla oceny najgorszego przypadku tzn. najniższa wartość dopuszczalna według przepisów dla ekspozycji zawodowej z rozpatrywanego pasma częstotliwości, przy uwzględnieniu zaprezentowanych w rozdz. B4 charakterystyk częstotliwościowych pól elektromagnetycznych emitowanych przez badane źródła światła.

Tabela A3.10.

Kryterium oceny poziomu emisji pola elektromagnetycznego przez badane źródła światła.

Poziom	Kryterium oceny	Pasma małych częstotliwości 5 Hz - 2 kHz		Pasma średnich częstotliwości 2 kHz - 400 kHz	
		Indukcja magnetyczna B [μ T]	Natężenie pola elektrycznego E [V/m]	Indukcja magnetyczna B [μ T]	Natężenie pola elektrycznego E [V/m]
4	strefa niebezpieczna	> 125	> 1000	> 125	> 1000
3	wartość rozgraniczająca strefę niebezpieczną i zagrożenia dla ekspozycji zawodowej (strefa zagrożenia)	125	1000	125	1000
2	wartość rozgraniczająca strefę zagrożenia i pośrednią dla ekspozycji zawodowej (strefa pośrednia)	12,5	100	12,5	100
1	wartość rozgraniczająca strefę pośrednią i bezpieczną dla ekspozycji zawodowej (dopuszczalna ekspozycja ogółu ludności - strefa bezpieczna)	4,1	33	4,1	33
0	wartość w środowisku (wartości zdefiniowane przez TCO dla sprzętu komputerowego)	0,2	10	0,025	1

A4. ZALECENIA DOTYCZĄCE WYKORZYSTANIA ZAMIENNIKÓW W RÓŻNYCH WARUNKACH ICH EKSPLOATACJI NA STANOWISKACH PRACY

A4.1. Zalecenia poprawnego stosowania zamienników żarówek głównego szeregu ze względu na emisję promieniowania optycznego w różnych warunkach ich eksploatacji

A4.1.1. Dobór parametrów urządzeń oświetleniowych na stanowiskach pracy do określonego zadania wzrokowego

Prawidłowo dobrane parametry użytkowe urządzeń oświetleniowych jak: moc źródła (odpowiadająca mocy zamienianej żarówki), temperatura barwowa i wskaźnik oddawania barw mają duży wpływ na wygodę widzenia i dobre samopoczucie. W świetle elektrycznym barwy pomieszczenia, przedmiotów oraz ludzkiej skóry powinny wyglądać naturalnie. Wymagania szczegółowe dotyczące wymaganych wartości wskaźnika oddawania barw źródeł światła ze względu na ich zastosowanie do oświetlania różnego rodzaju pomieszczeń i stanowisk pracy zawarte są w normie PN-EN 12464-1:2004. Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń [31]. Z normy tej wynika, że źródła, które będą stosowane w biurach, szkołach, hotelach, restauracjach, wnętrzach użyteczności publicznej oraz w lokalach mieszkalnych powinny mieć wartość tego wskaźnika ≥ 80 . Natomiast wartość tego wskaźnika powinna być większa od 90 w przypadku oświetlania stanowisk doboru i kontroli barw w przemyśle włókienniczym, poligraficznym, w niektórych gabinetach lekarskich, galeriach i muzeach. Również określone są stanowiska, na których wystarczy aby wskaźnik oddawania barw był większy od 60. Będą to stanowiska w przemyśle ciężkim, przetwórczym, metalurgicznym, itp.

Przy doborze barwy światła, ogólną zasadą jest stosowanie światła cieplejszego w pomieszczeniach, w których ważny jest komfort psychiczny, np. w biurach

i pomieszczeniach rekreacyjnych. Natomiast światło o chłodnej barwie należy stosować tam, gdzie wymagane są wysokie poziomy natężenia oświetlenia. Należy przy tym pamiętać o zasadzie nie mieszania różnych barw światła w jednym pomieszczeniu, szczególnie w oprawach oświetlenia ogólnego i miejscowego.

Praktycznie na wszystkich źródłach światła producenci podają jeszcze ich trwałość w godzinach lub latach. Istotnym parametrem z punktu widzenia użytkownika jest informacja producenta o możliwości ściemniania danego źródła (oznakowanie źródła na opakowaniu „Dimmable”). Oznacza to, że tylko takie źródła można montować w obwodach ze ściemniaczami. Zamontowanie źródła nie przewidzianego do ściemniania może spowodować jego uszkodzenie. Niektórzy producenci np. firma Philips zaczynają podawać na opakowaniach swych źródeł światła jeszcze dwa istotne parametry użytkowe: czas nagrzewania źródła oraz minimalną ilość cykli włącz / wyłącz. Parametry te mają istotny wpływ na miejsce zastosowania określonego źródła światła.

Poziom natężenia oświetlenia potrzebny do wykonywania określonej pracy wzrokowej dobiera się w zależności od stopnia trudności pracy wzrokowej. O stopniu trudności pracy wzrokowej decyduje współczynnik odbicia przedmiotu pracy oraz wielkość kontrastu szczegółu przedmiotu z jego tłem. Im mniejszy jest współczynnik odbicia i kontrast szczegółu z tłem, a także wartość szczegółu pracy wzrokowej tym większy jest stopień trudności pracy wzrokowej, czyli wymagany poziom natężenia oświetlenia będzie większy. Wymagania szczegółowe dotyczące doboru wartości eksploatacyjnego natężenia oświetlenia w zależności od rodzaju pomieszczenia i stanowiska pracy zawarte są w normie PN-EN 12464-1:2004. Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń [31].

Zestawienie podstawowych parametrów użytkowych badanych w ramach pracy źródeł światła deklarowanych przez producentów, takich jak: moc, trwałość, wskaźnik oddawania barw i temperatura barwowa podzielonych w zależności od odpowiadającej im mocy żarówek przedstawiono w tabeli A4.1.

Tabela A4.1.

Zestawienie podstawowych parametrów użytkowych badanych źródeł światła podzielonych w zależności od odpowiadającej im mocy żarówek

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Moc [W]	Trwałość	R _a deklarowane [-]	T _c deklarowane [K]
ODPOWIEDNIKI ŻARÓWEK O MOCY DO 40 W							
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE							
13.	33S	„Żarówka energooszczędna” 7W/2700 K	Budget	7	6 000 h	bd	2 700
ŹRÓDŁA LEDOWE							
22.	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	3	25 lat	60 ⁴⁾	3 000
23.	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500 K	ACTIVE JET	2,2	30 000 h	bd	3 500
24.	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	4	35 000 h	bd	WW
26.	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	3	bd	bd	CW
27.	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	5	15 lat	80 ⁴⁾	3 000
28.	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	2	20 lat	70 ⁴⁾	6 300
29.	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	4,5	35 000 h	bd	5 700 - 6 300
30.	13L	ACRICHE R50, 4,5W, WW	ELGO	4,5	35 000 h	bd	3 000 ⁴⁾
31.	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	2	15 lat	60 ⁴⁾	2 700 ⁴⁾
32.	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	6	15 000 h	80 ⁴⁾	3 000 ⁴⁾
33.	26L	Econic 5W	PHILIPS	5	bd	bd	bd

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Moc [W]	Trwałość	R _a deklarowane [-]	T _c deklarowane [K]
ODPOWIEDNIKI ŻARÓWEK O MOCY 40 W (DO 60 W)							
ŹRÓDŁA LEDOWE							
25.	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, 40D (4200 K)	PHILIPS	7	45 000 h	70 ⁴⁾	4 200
34.	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	8	25 000 h	80 ⁴⁾	3 000
ŻARÓWKI HALOGENOWE							
40.	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	28	2 000 h	100	3000 - 3200
41.	42H	Eco Classic Dimmable 20W ES	PHILIPS	20	3 lata	100	3000 - 3200
ODPOWIEDNIKI ŻARÓWEK O MOCY 60 W							
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE							
1.	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	11	6 lat	85	2 500
2.	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	11	6 000 h	bd	bd
5.	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	20	6 lat	80	2 700
12.	32S	Downlighter R80 20W/827	PHILIPS	20	10 000 h	80	2 700
15.	35S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW opal	Budget	15	6 000 h	bd	bd
16.	36S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW	Budget	15	6 000 h	bd	bd
ŻARÓWKI HALOGENOWE							

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Moc [W]	Trwałość	R _a deklarowane [-]	T _c deklarowane [K]
35.	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	50	2 000 h	100	3000 - 3200
36.	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	42	2 lata	100	3000 - 3200
Odpowiedniki żarówek o mocy 75 W (do 100 W)							
ŚWIETLÓWKI KOMPAKTOWE							
3.	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	18	6 000 h	bd	2 700
8.	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	14	6 lat	82 ⁴⁾	2 700 ⁴⁾
10	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	15	6 000 h	bd	2 700
11.	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	15	6 lat	80 ⁴⁾	2 700
ŻARÓWKI HALOGENOWE							
38.	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	70	2 000 h	100	3000 - 3200
ODPOWIEDNIKI ŻARÓWEK O MOCY 100 W							
ŚWIETLÓWKI KOMPAKTOWE							
6.	15S	Mini Eco ES 20W	GE	20	6 lat	bd	2 700
7.	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	20	10 lat	80	2 500
14.	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	20	15 000 h	80	2 700
ODPOWIEDNIKI ŻARÓWEK O MOCY POWYŻEJ 100 W							

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Moc [W]	Trwałość	R _a deklarowane [-]	T _c deklarowane [K]
ŚWIE TLÓWKI KOMPAKTOWE							
4.	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	23	8 lat	80	2 700
9.	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	24	12 000 h	80	2 700
17.	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	23	8 lat	80	6 500
18.	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	45	8 lat	80	2 700
19.	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	23	8 lat	80	2 700
20.	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	33	15 000 h	80	2 700
21.	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	33	12 000 h	80	6 500
ŻARÓWKI HALOGENOWE							
37.	20H	Eco Classic 30 Dimmable 140W	PHILIPS	140	2 000 h	100	3000 - 3200
39.	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	105	2 000 h	100	3000 – 3200
UWAGA W tabeli zachowano liczbę porządkową przypisana do konkretnego typu źródła ze względu na jednoznaczną identyfikację badanych źródeł bd - brak danych CW – temperatura barwowa zimna (chłodnobiała) WW – temperatura barwowa ciepła (ciepłobiała)							

Na podstawie zestawienia badanych źródeł w zależności od odpowiadającej im mocy żarówek (tabela A4.1.), można stwierdzić, że podstawowym zamiennikiem najpowszechniej stosowanej żarówki o mocy 100 W są świetlówki kompaktowe. Również świetlówki kompaktowe oraz ewentualnie żarówki halogenowe mogą być zamiennikami żarówek o mocach powyżej 100 W. Parametry użytkowe badanych zamienników, takie jak: wskaźnik oddawania barw i temperatura barwowa są porównywalne z parametrami żarówek, natomiast trwałość jest znacznie większa - szczególnie świetlówek kompaktowych. W związku z tym praktycznie wszystkie z tych źródeł mogą być zalecane do oświetlenia ogólnego, a wersji reflektorowej (kierunkowej) jako oświetlenie zlokalizowane. Źródła te można stosować do oświetlania stanowisk pracy, na których wymagane jest uzyskanie poziomu natężenia oświetlenia rzędu 500 lx.

Zamiennikami żarówek o mocy 60 i 75 W są świetlówki kompaktowe oraz żarówki halogenowe, których parametry użytkowe takie jak: wskaźnik oddawania barw i temperatura barwowa są porównywalne z parametrami żarówek, natomiast trwałość jest znacznie większa - szczególnie świetlówek kompaktowych. Ze względu na mniejszą moc (a tym samym mniejszy emitowany strumień świetlny) mogą one w większości przypadków być zalecane jako źródła światła do opraw oświetlenia miejscowego, ewentualnie jako oświetlenie ogólne w biurach lub mieszkaniach – instalowane w żyrandolach. W przypadku zastosowania ich do oświetlenia miejscowego możliwe będzie uzyskanie w plamie świetlnej poziomu natężenia oświetlenia rzędu 500 lx.

Natomiast zamiennikami żarówek o mocy do 40 W mogą być świetlówki kompaktowe, źródła ledowe oraz żarówki halogenowe. Jedynie w przypadku źródeł ledowych zarówno wskaźnik oddawania barw jak i temperatura barwowa w niektórych przypadkach są gorsze od analogicznych parametrów żarówek. Natomiast trwałość zarówno świetlówek kompaktowych jak i źródeł ledowych jest znacznie większa od trwałości żarówek. Spośród badanych źródeł największą liczbę stanowiły źródła ledowe (13 szt.). W większości przypadków mogą być one zalecane jako źródła światła stosowane do oświetlenia akcentowego – przede wszystkim te o bardzo małych mocach lub zlokalizowanego – szczególnie w wersji reflektorowej (kierunkowej). Źródeł o tak małych mocach praktycznie nie instaluje się w oprawach oświetlenia ogólnego.

A4.1.2. Dobór parametrów urządzeń oświetleniowych do cech geometryczno - przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy

Dobór parametrów urządzeń oświetleniowych (źródeł światła) do cech geometryczno przestrzennych pomieszczenia i miejsca pracy zależy od następujących parametrów użytkowych:

- strumienia świetlnego emitowanego przez źródło,
- kąta wypromieniowania strumienia świetlnego (zależnego od zastosowanej optyki tj. źródła reflektorowe (kierunkowe)),
- odległości źródła, przy której zapewnia ono natężenie oświetlenia o wartości około 500 lx (d_{500lx}).

Parametry te determinują rodzaj oświetlenia do jakiego dane źródło światła przede wszystkim powinno być stosowane tj. czy do oświetlenia ogólnego, zlokalizowanego, miejscowego lub akcentowego. Wybór rodzaju oświetlenia w określonym pomieszczeniu lub miejscu pracy jest ściśle związany z ich cechami geometryczno-przestrzennymi. Przy wyborze rodzaju oświetlenia bierze się pod uwagę przede wszystkim takie cechy geometryczno-przestrzenne jak: wysokość pomieszczenia, powierzchnia pomieszczenia, powierzchnia robocza i wymiary pola zadania.

Ogólne kryteria wyboru rodzaju zastosowania źródła światła w zależności od wartości parametru d_{500lx} , zgodnie z opisem w rozdziale A3.2. przedstawiają się następująco:

- $d_{500lx} \leq 0,3$ m - oświetlenie akcentowe,
- $0,3 < d_{500lx} \leq 0,5$ m - oświetlenie miejscowe,
- $0,5$ m $< d_{500lx}$ - oświetlenie ogólne lub zlokalizowane.

Parametr d_{500lx} wyznaczano pomiarowo podczas badań parametrów użytkowych i fotobiologicznych urządzeń oświetleniowych (według metodyki przedstawionej w rozdziale B1.2). Uwzględnienie dodatkowych parametrów użytkowych jakimi jest strumień świetlny i kąt wypromieniowania źródła (podawane przez producenta) pozwala na sformułowanie zaleceń również odnośnie możliwości stosowania poszczególnych źródeł światła również do oświetlenia zlokalizowanego.

Oświetlenie ogólne służy do oświetlania w miarę równomiernie całego pomieszczenia a oprawy usytuowane są zazwyczaj bezpośrednio na suficie lub na zwieszakach zamontowanych do sufitu. W tym przypadku odległość źródła od powierzchni oświetlanej odgrywa zasadniczą rolę przy wyborze rodzaju źródła ze względu na emitowany strumień świetlny oraz odległość źródła, przy której zapewnia ono natężenie oświetlenia o wartości

około 500 lx. Z ekonomicznego punktu widzenia dąży się do jak najtańszego rozwiązania, które zapewni prawidłowe oświetlenie danego pomieszczenia do wymaganego poziomu natężenia oświetlenia i równomierności przy zastosowaniu jak najmniejszej liczby źródeł światła. Im wyższe pomieszczenie tym wskazanym by było stosowanie źródeł o wyższym strumieniu świetlnym i większej wartości parametru d_{500lx} oraz szerszym kącie wypromieniowania. Spośród badanych źródeł światła wytypowano jedenaście źródeł światła, które uwzględniają wyżej wymienione kryteria i mogą być przeznaczone do oświetlenia ogólnego (patrz tabela A4.2) Zalecane do tego celu źródła światła należą do grupy świetlówek kompaktowych (8 sztuk) oraz żarówek halogenowych (3 sztuki).

Oświetlenie zlokalizowane służy do doświetlenia miejsca pracy lub stanowiska pracy, a oprawy usytuowane są zazwyczaj na zwieszakach zamontowanych do sufitu bezpośrednio nad miejscem pracy lub w oprawach wolnostojących. Zwykle odległość między powierzchnią świecąca oprawy oświetlenia zlokalizowanego a powierzchnią roboczą miejsca pracy jest mniejsza niż przy oświetleniu ogólnym. W związku z tym mogą być stosowane również źródła o węższym kącie wypromieniowania, niż źródła przeznaczone do oświetlenia ogólnego, ale o mniejszym strumieniu świetlnym. Przykładem mogą być zalecane do tego celu dwie żarówki halogenowe (25H i 42H). W zależności od przeznaczenia (oświetlenie mieszkań czy miejsc pracy) niektóre źródła światła można stosować zarówno do oświetlenia zlokalizowanego jak i ogólnego (do tego celu zaleca się pięć spośród badanych świetlówek kompaktowych) lub do oświetlenia zlokalizowanego lub akcentowego (do tego celu zaleca się siedem spośród badanych źródeł ledowych). Zalecane ww. rodzaje oświetlenia dla badanych źródeł światła przedstawiono w tabeli A4.2.

Oświetlenie miejscowe służy do doświetlenia pola zadania na stanowisku pracy, a oprawa usytuowana jest zazwyczaj bezpośrednio na płaszczyźnie roboczej. Zwykle odległość między powierzchnią świecąca oprawy oświetlenia miejscowego a powierzchnią pola zadania jest mała i zawiera się w zakresie 30-50 cm. Z tego względu oprawa umieszczona w takiej odległości powinna zapewniać wystarczająco wysoki poziom natężenia oświetlenia i jednocześnie nie powodować olśnienia bezpośredniego oraz nadmiernych kontrastów na płaszczyźnie roboczej. Z analizy danych zawartych w tabeli A4.2 wynika, że prawie połowa badanych źródeł światła (19 sztuk) może być zalecana do oświetlenia miejscowego. Są to przede wszystkim świetlówki kompaktowe (15 sztuk) oraz żarówki halogenowe (2 sztuki) i źródła ledowe (2 sztuki).

Oświetlenie akcentowe służy wyłącznie do celów dekoracyjnych, podkreślenia jakiegoś szczegółu wystroju wnętrza i może być sytuowane na suficie, na ścianie jak i w oprawach stojących. Pomimo, że dla wielu źródeł ledowych wyznaczone wartości d_{500lx} były większe od 0,5 m to uwzględniając fakt małego strumienia świetlnego lub wąskiego kąta rozsyłu nie

zostały one ostatecznie zakwalifikowane do oświetlenia ogólnego, tylko do zlokalizowanego. Spośród badanych źródeł światła do oświetlenia akcentowego zaleca się źródła ledowe (11 sztuk), co przedstawiono w tabeli A4.2.

Tabela A4..2.

Zestawienie doboru badanych źródeł światła do poszczególnych rodzajów oświetlenia ze względu na cechy geometryczno-przestrzenne pomieszczeń i miejsca pracy.

Lp	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Strumień świetlny [lm]	d _{500lx} [m]	Rodzaj oświetlenia wynikający z cech geometryczno-przestrzennych
1.	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	— ¹⁾	0,42	miejscowe
2.	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	— ¹⁾	0,45	miejscowe
3.	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	1050	0,355	miejscowe
4.	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	— ¹⁾	0,88	ogólne / zlokalizowane
5.	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	1200	0,38	miejscowe
6.	15S	Mini Eco ES 20W	GE	1152	0,55	ogólne / zlokalizowane
7.	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	1160	0,47	miejscowe
8.	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	750	0,4	miejscowe
9.	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	1445	0,47	miejscowe
10.	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	825	0,41	miejscowe
11.	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	850	0,41	miejscowe
12.	32S	Downlighter R80 20W/827	PHILIPS	— ¹⁾	0,475	miejscowe
13.	33S	„Żarówka energooszczędna” 7W/2700 K	Budget	— ¹⁾	0,35	miejscowe
14.	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	1200	0,51	ogólne / zlokalizowane
15.	35S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW opal.	Budget	800	0,35	miejscowe
16.	36S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW	Budget	810	0,465	miejscowe
17.	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	1450	0,52	ogólne / zlokalizowane
18.	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	3100	0,68	ogólne

Lp	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Strumień świetlny [lm]	d _{500lx} [m]	Rodzaj oświetlenia wynikający z cech geometryczno-przestrzennych
19.	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	1550	0,51	ogólne / zlokalizowane
20.	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	2250	0,69	ogólne
21.	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	2150	0,67	ogólne
22.	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	140	0,2	akcentowe
23.	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500 K	ACTIVE JET	220	0,4	miejscowe
24.	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	— ¹⁾	1,53	akcentowe / zlokalizowane
25.	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, 40D (4200 K)	PHILIPS	220	1,04	akcentowe / zlokalizowane
26.	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	— ¹⁾	1,09	akcentowe / zlokalizowane
27.	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	— ¹⁾	0,83	akcentowe / zlokalizowane
28.	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	— ¹⁾	0,57	akcentowe / zlokalizowane
29.	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	230	0,61	akcentowe / zlokalizowane
30.	13L	ACRICHE R50, 4,5W, WW	ELGO	150	0,46	miejscowe
31.	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	bd	0,2	akcentowe
32.	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	— ¹⁾	1,14	akcentowe / zlokalizowane
33.	26L	Econic 5W	PHILIPS	bd	0,29	akcentowe
34.	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	345	0,37	miejscowe
35.	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	— ¹⁾	1,32	ogólne
36.	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	— ¹⁾	1,33	ogólne
37.	20H	Eco Classic 30 Dimmable 140W	PHILIPS	2800	0,72	ogólne
38.	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	1200	0,48	miejscowe
39.	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	1920	0,47	miejscowe

Lp	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Strumień świetlny [lm]	d _{500lx} [m]	Rodzaj oświetlenia wynikający z cech geometryczno-przestrzennych
40.	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	— ¹⁾	0,71	zlokalizowane
41.	42H	Eco Classic Dimmable 20W ES	PHILIPS	370	0,67	zlokalizowane

A4.2. Zalecenia poprawnego stosowania zamienników żarówek głównego szeregu ze względu na emisję pól elektromagnetycznych w różnych warunkach ich eksploatacji

Urządzenia oświetleniowe wytwarzają pola elektryczne i magnetyczne o zróżnicowanych poziomach i charakterystyce częstotliwościowej.

Tradycyjne źródła żarowe (żarówki głównego szeregu) wytwarzają sinusoidalnie zmienne pole magnetyczne i elektryczne o częstotliwości przemysłowej (50 Hz) (tab. A4.3). W widmie częstotliwości pola emitowanego przez żarówki głównego szeregu brak zarówno wyższych harmonicznymi częstotliwości przemysłowej, jak i pól z zakresu średnich częstotliwości. Przy żarówkach głównego szeregu występuje pole magnetyczne. Pole magnetyczne przy żarówkach głównego szeregu przekracza Poziom 0 jedynie bezpośrednio przy żarówce – już w odległości 15 cm wszystkie składowe pola magnetycznego żarówki nie przekraczają granicy poziomu 0. Jedynie pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz, emitowane przez instalację zasilającą, przekracza granicę Poziomu 0 w otoczeniu nieosłoniętych żarówek i kabli, jednakże jest to składowa pola elektromagnetycznej, którą można bardzo łatwo wyeliminować z otoczenia stosując proste ekranowanie kabla i oprawy oświetleniowej.

Biorąc pod uwagę charakterystykę pól elektromagnetycznych emitowanych przez żarówki głównego szeregu należy stwierdzić, że wobec uzyskanych wyników badań laboratoryjnych różnego typu urządzeń oświetleniowych, które mogą pełnić rolę zamienników żarówek ze względu na właściwości emitowanego światła widzialnego, żaden zamiennik nie reprezentuje zbliżonych do żarówki lub lepszych właściwości w zakresie parametrów pól elektromagnetycznych ocenianych ze względu na poziom ich oddziaływania na ludzi.

Ze względu na to, że poziom pól elektromagnetycznych zmniejsza się w miarę oddalania od źródła pola, właściwe dobranie zamienników żarówek powinno uwzględniać odległość między urządzeniem oświetleniowym, a pracującymi w jego otoczeniu ludźmi. możliwości zastosowania danego źródła światła ze względu na wytwarzane przez źródło światła pola elektromagnetyczne powinien być, podobnie jak przy doborze parametrów użytkowych oświetleniowych, rodzaj oświetlenia, do których może być ono dedykowane:

- ogólne
- zlokalizowane
- miejscowe.

Przyjmując, że pożądane jest aby na pracownika nie oddziaływało pole elektromagnetyczne od urządzeń oświetleniowych o poziomie przekraczającym granicę Poziomu 0, jedynie

żarówki eksploatowane w oprawach metalowych spełniają takie kryteriów we wszystkich przypadkach.

Spośród różnego typu zbadanych urządzeń oświetleniowych, stanowiących zamienniki żarówek głównego szeregu, świetlówki kompaktowe zintegrowane oraz diody elektroluminescencyjne wytwarzają pola elektromagnetyczne z szerokiego pasma częstotliwości. Z zestawienia zaprezentowanego w tabeli A4.3 wynika, że wszystkie zbadane egzemplarze tych źródeł światła wytwarzają pola elektromagnetyczne małej częstotliwości o częstotliwości podstawowej 50 Hz lub 100 Hz z dużą zawartością wyższych harmoniczych, o przebiegu ciągłym (bez modulacji impulsowej). Pola te są wytwarzane przez układy zasilania źródeł światła.

W przypadku świetlówek kompaktowych dodatkowo wytwarzają one pola z pasma średnich częstotliwości (o częstotliwościach podstawowych z pasma 10-75 kHz), także o przebiegu ciągłym (bez modulacji impulsowej) wskutek procesu elektroluminescencji i wyładowań gazowych.

Żarówki halogenowe wytwarzają pola elektromagnetyczne małej częstotliwości o częstotliwości podstawowej 50 Hz i przebiegu ciągłym (bez modulacji impulsowej). W widmie częstotliwości pola emitowanego przez żarówki halogenowe, podobnie jak w przypadku żarówek głównego szeregu brak zarówno wyższych harmoniczych zidentyfikowane częstotliwości podstawowej. Tylko jedna ze zbadanych żarówek halogenowych wytwarzała pola z pasma średnich częstotliwości (Eco Classic Dimmable 20W ES, PHILIPS).

Wartości natężeń pól elektromagnetycznych dopuszczalnych przy narażeniu ludzi maleją wraz ze wzrostem częstotliwości pól z uwagi na większą podatność organizmu człowieka na oddziaływanie pola i możliwość wystąpienia niepożądanych skutków ekspozycji przy mniejszych narażeniach. Ponadto, jak wspomniano, zagrożenia zdrowia związane z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych średnich częstotliwości są bardzo słabo poznane. Zatem, przy dobieraniu zamienników żarówek głównego szeregu do opraw oświetleniowych znajdujących się bezpośrednio przy stanowiskach pracy (oświetlenie miejscowe), należy unikać świetlówek kompaktowych zintegrowanych, ze względu na wytwarzanie przez nie pola średniej częstotliwości. Przy stosowaniu świetlówek kompaktowych zintegrowanych w oprawach znajdujących się w odległości kilku metrów od miejsca stałego przebywania pracownika (oświetlenie ogólne lub zlokalizowane) ze względu zmniejszanie się poziomu narażenia wraz z oddalaniem się od źródła pola, oddziaływanie pól średnich częstotliwości od świetlówek jest zaniedbywalne (tabela A4.4).

W tabeli A4.4 kolorem zielonym zaznaczono komórki odpowiadające polom elektromagnetycznym o poziomie nie przekraczającym Poziomu 0, tj. kiedy zagrożenia elektromagnetyczne dla poszczególnych rodzajów i częstotliwości pola w danej odległości nie występują dookoła urządzenia oświetleniowego (tzn. występujące tam pole elektromagnetyczne nie przekracza poziomu typowego dla pomieszczeń biurowych).

Kolorem czerwonym oznaczono komórki tabeli A4.4 odpowiadające polom elektromagnetycznym o Poziomie 4 – tj. występowanie w danym miejscu w otoczeniu źródła światła pola elektromagnetycznego strefy niebezpiecznej zdefiniowanej w przepisach prawa pracy [41].

Urządzenia oświetleniowe, w otoczeniu których zidentyfikowano występowanie pól elektromagnetycznych z kategorii Poziom 4, powinny być stosowane jedynie w oprawach znajdujących się w znacznej odległości od miejsc stałego przebywania pracowników. (oświetlenie ogólne).

Kolorem białym oznaczono komórki tabeli A4.4. odpowiadające polom elektromagnetycznym o Poziomie 1, 2 lub 3 – tj. występujące tam pole elektromagnetyczne przekracza poziomu typowy dla pomieszczeń biurowych, ale jego poziom nie przekracza wartości granicznych przy narażeniu pracowników.

Tabela A4.3.

Charakterystyka pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez badane źródła światła.

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Częstotliwość podstawowa pól od układu zasilania		Obecność harmonicznych sieci 100 Hz - 500 Hz	Rodzaj przebiegu pól od układu zasilania		Harmoniczna podstawowa wyższych częstotliwości	Rodzaj przebiegu pola	
					50 Hz	100 Hz		ciągły	modulowany		ciągły	modulowany
0	Żarówka głównego szeregu	Neolux 100 W	NEOLUX	E	+	-	-	+	-	-	-	-
				H	+	-	-	+	-	-	-	-
1	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	E	+	-	+	+	-	40 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
2	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	E	+	-	+	+	-	44 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
3	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	E	+	-	+	+	-	41 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
4	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	51 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	48 kHz	+	-
5	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	E	+	-	+	+	-	45 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	11 kHz	+	-
6	15S	Mini Eco ES 20W	GE	E	+	-	+	+	-	75 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
7	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	E	+	-	+	+	-	48 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
8	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	27 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	49 kHz	+	-

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Częstotliwość podstawowa pól od układu zasilania		Obecność harmonicznych sieci 100 Hz - 500 Hz	Rodzaj przebiegu pól od układu zasilania		Harmoniczna podstawowa wyższych częstotliwości	Rodzaj przebiegu pola	
					50 Hz	100 Hz		ciągły	modulowany		ciągły	modulowany
9	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	E	+	-	+	+	-	49 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	+	-
10	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	E	+	-	+	+	-	38 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	40 kHz	+	-
11	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	E	+	-	+	+	-	39 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	40 kHz	+	-
12	32S	Downlighter R80 20W/827	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	91 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	30 kHz	+	-
13	33S	„Żarówka energooszczędna” 7W/2700 K	Budget	E	-	+	+	+	-	38 kHz	+	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
14	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	E	-	+	+	+	-	42 kHz	+	-
				H	-	+	+	+	-	36 kHz	+	-
15	35S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW opal.	Budget	E	-	+	+	+	-	40 kHz	+	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
16	36S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW	Budget	E	-	+	+	+	-	44 kHz	+	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
17	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	54 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	47 kHz	+	-

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Częstotliwość podstawowa pól od układu zasilania		Obecność harmonicznych sieci 100 Hz - 500 Hz	Rodzaj przebiegu pól od układu zasilania		Harmoniczna podstawowa wyższych częstotliwości	Rodzaj przebiegu pola	
					50 Hz	100 Hz		ciągły	modulowany		ciągły	modulowany
18	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	48 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	48 kHz	+	-
19	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	48 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	51 kHz	+	-
20	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	40 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	43 kHz	+	-
21	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	39 kHz	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
22	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	E	-	+	+	+	-	-	-	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
23	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500 K	ACTIVE JET	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
24	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	E	-	+	+	+	-	-	-	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
25	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, 40D (4200 K)	PHILIPS	E	-	+	+	+	-	-	-	-
				H	+	+	+	+	-	-	-	-
26	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
27	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Częstotliwość podstawowa pól od układu zasilania		Obecność harmonicznych sieci 100 Hz - 500 Hz	Rodzaj przebiegu pól od układu zasilania		Harmoniczna podstawowa wyższych częstotliwości	Rodzaj przebiegu pola	
					50 Hz	100 Hz		ciągły	modulowany		ciągły	modulowany
28	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
29	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
30	13L	ACRICHE R50, 4,5W, WW	ELGO	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
31	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
32	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	E	-	+	+	+	-	-	-	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
33	26L	Econic 5W	PHILIPS	E	-	+	+	+	-	-	-	-
				H	-	+	+	+	-	-	-	-
34	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	E	+	-	+	+	-	-	-	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-
35	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	E	+	-	-	+	-	-	-	-
				H	+	-	-	+	-	-	-	-
36	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	E	+	-	-	+	-	-	-	-
				H	+	-	-	+	-	-	-	-
37	20H	Eco Classic 30	PHILIPS	E	+	-	-	+	-	-	-	-

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Częstotliwość podstawowa pól od układu zasilania		Obecność harmonicznych sieci 100 Hz - 500 Hz	Rodzaj przebiegu pól od układu zasilania		Harmoniczna podstawowa wyższych częstotliwości	Rodzaj przebiegu pola	
					50 Hz	100 Hz		ciągły	modulowany		ciągły	modulowany
		Dimmable 140W		H	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
38	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	E	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
				H	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
39	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	E	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
				H	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
40	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	E	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
				H	+ sinus	-	-	+	-	-	-	-
41	42H	Eco Classic Dimmable 20W ES	PHILIPS	E	+	-	+	+	-	133	+	-
				H	+	-	+	+	-	-	-	-

Tabela A4.4.

Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez badane źródła światła.

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 5 Hz – 2 kHz w otoczeniu źródła światła			Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 2 kHz – 400 kHz w otoczeniu źródła światła		
					na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy	na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy
0	Żarówka główne-go szeregu	Neolux 100 W	NEOLUX	E	3	3	2	0	0	0
				H	1	0	0	0	0	0
1	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	E	3	3	2	3	1	1
				H	2	1	0	2	1	1
2	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	E	3	3	2	3	2	1
				H	0	0	0	1	1	1
3	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	E	4	3	2	4	2	1
				H	1	0	0	1	1	1
4	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	E	3	3	2	3	3	1
				H	1	0	0	1	1	1
5	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	E	3	3	2	3	1	1
				H	1	0	0	1	1	1
6	15S	Mini Eco ES 20W	GE	E	4	3	2	3	2	1
				H	1	0	0	1	1	1
7	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	E	3	3	2	3	2	1
				H	1	0	0	1	1	1
8	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	E	3	3	2	3	2	1
				H	1	0	0	1	1	1

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 5 Hz – 2 kHz w otoczeniu źródła światła			Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 2 kHz – 400 kHz w otoczeniu źródła światła		
					na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy	na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy
9	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	E	4	4	3	3	1	1
				H	1	1	0	1	1	1
10	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	E	4	3	2	3	2	1
				H	1	1	0	1	1	1
11	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	E	3	3	2	3	2	1
				H	1	0	0	1	1	1
12	32S	Downlighter R80 20W/827	PHILIPS	E	3	3	2	3	1	1
				H	1	0	0	1	1	1
13	33S	„Żarówka energooszczędna” 7W/2700 K	Budget	E	3	3	2	3	1	1
				H	0	0	0	1	1	1
14	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	E	4	3	2	3	2	1
				H	1	0	0	1	1	1
15	35S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW opal.	Budget	E	3	3	2	3	2	1
				H	0	0	0	1	1	1
16	36S	„Żarówka energooszczędna” 15W, WW	Budget	E	4	3	2	3	3	1
				H	1	1	0	1	1	1
17	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	E	4	3	2	3	3	1
				H	1	0	0	1	1	1

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 5 Hz – 2 kHz w otoczeniu źródła światła			Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 2 kHz – 400 kHz w otoczeniu źródła światła		
					na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy	na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy
18	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	E	4	3	2	3	3	1
				H	1	0	0	1	1	1
19	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	E	4	3	2	3	3	1
				H	1	0	0	1	1	1
20	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	E	4	3	2	3	2	1
				H	1	1	0	1	1	1
21	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	E	4	3	2	3	3	1
				H	2	1	0	1	1	1
22	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	E	3	3	2	1	1	0
				H	1	0	0	1	1	1
23	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500K	ACTIVE JET	E	4	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
24	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	E	3	3	2	1	1	0
				H	0	0	0	1	1	1
25	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, 40D (4200 K)	PHILIPS	E	3	3	2	1	1	0
				H	0	0	0	1	1	1
26	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	E	4	3	2	3	1	0
				H	0	0	0	1	1	1

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 5 Hz – 2 kHz w otoczeniu źródła światła			Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 2 kHz – 400 kHz w otoczeniu źródła światła		
					na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy	na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy
27	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	E	3	3	2	1	1	0
				H	1	0	0	1	1	1
28	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	E	3	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
29	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	E	3	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
30	13L	ACRICHE R50, 4,5W, WW	ELGO	E	3	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
31	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	E	3	2	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
32	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	E	3	3	2	2	1	0
				H	1	0	0	1	1	1
33	26L	Econic 5W	PHILIPS	E	3	3	2	1	1	0
				H	1	0	0	1	1	1
34	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	E	3	3	2	1	0	0
				H	1	1	0	1	1	1
35	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	E	3	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
36	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	E	3	3	2	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1

Lp.	Symbol źródła	Typ źródła	Producent	Składowa pola	Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 5 Hz – 2 kHz w otoczeniu źródła światła			Ocena poziomu emisji pola elektromagnetycznego z pasma częstotliwości 2 kHz – 400 kHz w otoczeniu źródła światła		
					na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy	na obudowie	15 cm od środka obudowy	50 cm o środka obudowy
37	20H	Eco Classic 30 Dimmable 140W	PHILIPS	E	3	2	2	0	0	0
				H	1	0	0	1	1	1
38	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	E	4	3	2	0	0	0
				H	1	0	0	1	1	1
39	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	E	3	2	2	0	0	0
				H	1	0	0	1	1	1
40	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	E	3	2	1	0	0	0
				H	0	0	0	1	1	1
41	42H	Eco Classic Dimmable 20W ES	PHILIPS	E	3	3	2	2	1	0
				H	3	3	2	0	0	0

Zestawienie dokonane w tabeli A4.4 dla badanych źródeł światła wskazuje, że pole elektryczne z zakresu średnich częstotliwości może w otoczeniu wszystkich świetlówek kompaktowych w odległościach mniejszych od 50 cm osiągać poziomy odpowiadające strefom ochronnym dla ekspozycji zawodowej. W odległościach większych niż 50 cm pole elektryczne nie przekracza wartości dopuszczalnych dla ekspozycji ogółu ludności.

Poziom pola elektrycznego małej częstotliwości świetlówek kompaktowych jest porównywalny z poziomem pola wytwarzanym przez żarówki głównego szeregu i w odległościach większych od 50 cm osiąga typowe wartości występujące w otoczeniu układów i instalacji zasilającej 230 V (kilka- kilkanaście V/m).

W przypadku źródeł ledowych i halogenowych poziom emisji pola magnetycznego jest porównywalny z emisją żarówek głównego szeregu i nie przekracza on poziomów uznawanych za bezpieczne dla pracowników z punktu widzenia postanowień przepisów BHP. Natężenie pola elektrycznego z uwagi na zasilanie źródeł napięciem 230 V nie odbiega od poziomów występujących przy innych układach i instalacjach zasilających 230 V

Spośród 3 grup zamienników żarówek głównego szeregu: świetlówek kompaktowych zintegrowanych, żarówek halogenowych oraz diód elektroluminescencyjnych najniższymi poziomami emisji pól elektromagnetycznych charakteryzują się żarówki halogenowe oraz diody elektroluminescencyjne i one powinny być stosowane w pierwszej kolejności zamiast żarówek, szczególnie w przypadku oświetlenia miejscowego stanowisk pracy, kiedy pracownik znajduje się blisko oprawy oświetleniowej, np. przy wykonywaniu precyzyjnych prac wzrokowych

A5. ZALECENIA DOTYCZĄCE METOD ELIMINACJI LUB OGRANICZANIA ZAGROŻEŃ W EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ OŚWIE TL ENIOWYCH

Zgodnie z celem niniejszej pracy naukowo-badawczej zalecenia dotyczące metod eliminacji lub ograniczania zagrożeń w eksploatacji urządzeń oświetleniowych dotyczą zagrożeń związanych z promieniowaniem optycznymi i polami elektromagnetycznym.

A5.1. Metody eliminacji lub ograniczania zagrożeń związanych z promieniowaniem optycznym w eksploatacji urządzeń oświetleniowych

Pomimo, iż większość objętych badaniami w ramach niniejszej pracy źródeł światła zaklasyfikowana została do grupy ryzyka niskiego (30 źródeł) lub umiarkowanego (10 źródeł) to nie znaczy, że ekspozycja na promieniowanie optyczne tych źródeł jest bezpieczna przez dowolnie długi okres czasu. Uwzględniając fakt, że badane źródła światła mogą potencjalnie stwarzać ryzyko ze względu na zagrożenie fotochemiczne lub termiczne siatkówki oka oraz aktywność UV oka i skóry należy określić dopuszczalne czasy ekspozycji wynikające z tych zagrożeń. Przekroczenie czasu ekspozycji powyżej wartości dopuszczalnej jest równoznaczne z potencjalnym występowaniem skutków szkodliwych dla zdrowia związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. Jednocześnie istotny wpływ na występowanie określonego zagrożenia dla zdrowia ma odległość źródła od eksponowanych części ciała, co powinno mieć odzwierciedlenie w zastosowaniach praktycznych. Z tego względu wyznaczono graniczne odległości bezpieczne.

A5.1.1. Dopuszczalne czasy ekspozycji

W przypadku określania zagrożenia termicznego rozpatruje się jednorazowe czasy ekspozycji a w przypadku określaniu zagrożenia fotochemicznego – całkowite czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej. Dla każdego rodzaju zagrożenia fotobiologicznego, dla którego określono grupę ryzyka inną niż grupa wolna od ryzyka należy osobno wyznaczać dopuszczalne czasy ekspozycji. W przypadku badanych źródeł dotyczy to :

- zagrożenia termicznego siatkówki oka
 - zagrożenia siatkówki oka światłem niebieskim
 - zagrożenia aktywności UV oka i skóry.
- **Dopuszczalny czas jednorazowej ekspozycji przy zagrożeniu termicznym siatkówki oka**

W przypadku określania zagrożenia termicznego rozpatruje się jednorazowe czasy ekspozycji i odpowiednio oblicza się wartość maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE) lub wartość porównywaną z MDE. Dlatego w przypadku występowania grupy ryzyka 1 lub 2 ze względu na zagrożenie termiczne siatkówki oka nie ma konieczności obliczania dopuszczalnych czasów ekspozycji, gdyż dopuszczalne czasy jednorazowej ekspozycji odpowiadają czasom przyjętym przy klasyfikacji grup ryzyka tzn.:

- 10 s dla grupy wolnej od ryzyka i grupy ryzyka 1
 - 0,25 s dla grupy ryzyka 2.
- **Dopuszczalny czas ekspozycji siatkówki oka na światło niebieskie**

Zagrożenie siatkówki oka światłem niebieskim jest zagrożeniem fotochemicznym, dlatego sumuje się czasy ekspozycji w ciągu zmiany roboczej i odpowiednio do wartości sumarycznego czasu ekspozycji oblicza się wartość MDE lub wartość porównywaną z MDE. Uwzględniając powyższe wyznaczono dla badanych źródeł światła odpowiednio dopuszczalne czasy ekspozycji ze względu na zagrożenie siatkówki oka światłem niebieskim.

Zgodnie z PN-EN [30], w przypadku gdy skuteczna luminancja energetyczna L_B przekracza 100 W/(m²·sr) należy wyznaczyć maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji t_{max} (dla $t \leq 10\,000$ s), zgodnie ze wzorem:

$$t_{max} = \frac{1000000}{L_B} \quad (A5.1)$$

Powyższy wzór wynika z przekształcenia wzoru na MDE przy ocenie zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka (patrz rozdz. A3.1.2. tabela A3.2 poz.1) dla dużych źródeł (kąt widzenia źródła powyżej 11 mrad) i czasu ekspozycji nie przekraczającego 10 000 s. Stosując wzór A5.1 wyznaczono dla każdego z badanych źródeł światła (oprócz źródła Master LED NR 63 MV 7 W, WW, 40D, 4200 K, które zostało zakwalifikowane do grupy wolnej od ryzyka) maksymalne dopuszczalne czasy ekspozycji oczu ($t_{\max}$), co przedstawiono w tabeli A5.1.

Tabela A5.1.

Dopuszczalny czas ekspozycji oczu w ciągu zmiany roboczej na światło niebieskie emitowane przez poszczególne badane źródła o wyznaczonych grupach ryzyka ze względu na zagrożenie światłem niebieskim.

na zagrożenie światłem niebieskim.						
Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie światłem niebieskim	Dopuszczalny czas ekspozycji	
					s	min
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE						
1.	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	1	1 275	21,25
2.	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	1	804	13,33
3.	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	1	1 070	17,83
4.	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	1	638	10,63
5.	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	1	1 174	19,56
6.	15S	Mini Eco ES 20W	GE	1	940	15,66
7.	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	1	1 419	23,65
8.	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	1	994	16,56
9.	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	1	664	11,06
10	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	1	940	15,66
11.	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	1	635	10,58
12.	32S	Downlighter R 80 20W/827	PHILIPS	1	1 070	17,83
13.	33S	Żarówka energooszczędna 7W/2700 K	Budget	1	1 623	27,05
14.	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	1	874	14,56
15.	35S	Żarówka energooszczędna 15W, WW opalizowana	Budget	1	1 308	21,8

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie światłem niebieskim	Dopuszczalny czas ekspozycji $t_{\max}$	
					s	min
16.	36S	Żarówka energooszczędna 15W, WW	Budget	1	1 311	21,85
17.	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	1	225	3,75
18.	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	1	840	14
19.	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	1	570	9,5
20.	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	1	985	16,42
21.	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	1	985	16,42
ŹRÓDŁA LEDOWE						
22.	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	1	3 193	53,22
23.	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500 K	ACTIVE JET	1	383	6,38
24.	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	2	41	0,68
25.	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, WW, 40D (4200 K)	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 10 000 s	
26.	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	2	10	0,16
27.	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	2	94	1,56
28.	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	2	50	0,83
29.	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	2	23	0,38
30.	13L	ACRICHE R50, 4,5W WW	ELGO	1	142	2,37
31.	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	1	2 234	37,23
32.	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	2	16	0,26
33.	26L	Econic 5W	PHILIPS	1	1 826	30,43
34.	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	1	667	11,12
ŻARÓWKI HALOGENOWE						
35.	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	2	59	0,98
36.	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	2	93	1,55
37.	20H	Eco Classic 30 Dimmable 140W	PHILIPS	2	57	0,95

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na zagrożenie światłem niebieskim	Dopuszczalny czas ekspozycji $t_{\max}$	
					s	min
38.	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	1	108	1,8
39.	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	2	75	1,25
40.	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	1	214	3,56
41.	42H	EcoClassic Dimmable 20W ES	PHILIPS	1	307	5,12

Analizując wyznaczone dla poszczególnych źródeł światła dopuszczalne czasy ekspozycji ze względu na zagrożenie siatkówki oka światłem niebieskim można stwierdzić, że dla 40 źródeł światła dla których występuje niskie lub umiarkowane ryzyko, dopuszczalne czasy ekspozycji nie przekraczają 10 000 s oraz, że:

- najdłuższy maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji wynosi 3 193 s (53,22 min) dla źródła ledowego (5L)
- najkrótszy maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji wynosi 10 s dla źródła ledowego (9L), co oznacza, że źródło to powinno być stosowane ze szczególną ostrożnością,
- najkrótsze dopuszczalne czasy ekspozycji występowały dla źródeł ledowych: od 10 – 142 s, a następnie dla żarówek halogenowych 57 - 307 s.

W przypadku 14 spośród badanych źródeł światła, z których 4 zakwalifikowano do grupy niskiego ryzyka (zaznaczone w tabeli A5.1 jasnoniebieskim kolorem), a 10 do umiarkowanego ryzyka (zaznaczone w tabeli A5.1 niebieskim kolorem) łączna ekspozycja siatkówki oka w ciągu zmiany roboczej, która może stanowić o zagrożeniu dla zdrowia nie przekracza 4 minut. Dlatego też przy stosowaniu tych źródeł szczególnie istotne jest ich właściwe osłanianie przez układ świetlno-optyczny oprawy oświetleniowej o odpowiednim kącie ochrony oprawy tak, aby obserwator nie mógł widzieć bezpośrednio źródła światła przy wykonywaniu czynności na stanowisku pracy. Istotne jest też odpowiednie usytuowanie oprawy względem oczu obserwatora. Szczególnie ważne jest to przy stosowaniu tych źródeł w oprawach oświetlenia miejscowego, kiedy użytkownik może samodzielnie zmieniać jej położenie i nieświadomie narażać się na ewentualne skutki szkodliwe. Z tego względu nie zaleca się stosowania tych źródeł światła w oprawach oświetlenia miejscowego.

- Dopuszczalny czas ekspozycji oczu i skóry na nadfiolet aktywny**

Zagrożenie aktywności oka i skóry promieniowaniem nadfioletowym jest zagrożeniem fotochemicznym, dlatego sumuje się czasy ekspozycji w ciągu zmiany roboczej i odpowiednio do wartości sumarycznego czasu ekspozycji oblicza się wartość porównywaną z MDE. Uwzględniając powyższe wyznaczono dla badanych źródeł światła odpowiednio dopuszczalne czasy ekspozycji ze względu na zagrożenie aktywności oczu i skóry na nadfiolet aktywny.

Zgodnie z PN-EN [30], należy wyznaczyć maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji t_{max} niechronionej skóry lub oczu na nadfiolet (dla ekspozycji nie przekraczającej 8 godzin) zgodnie ze wzorem

$$t_{maxUV} = \frac{30}{E_s} \quad (A5.2)$$

Powyższy wzór wynika z przekształcenia wzoru A3.2 (rozdział A3.1.2) na wyznaczanie napromienienia aktywności UV (E_s), gdzie w miejsce napromienienia wstawiono wartość MDE wynoszącą 30 J/m². Stosując wzór A5.2 wyznaczono maksymalne dopuszczalne czasy ekspozycji na nadfiolet dla każdego z badanych źródeł światła, które zostało zakwalifikowane do grupy ryzyka 1 ze względu na zagrożenie aktywności UV. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli A5.2.

Tabela A5.2.

Dopuszczalny czas ekspozycji oczu w ciągu zmiany roboczej na nadfiolet aktywny emitowany przez poszczególne badane źródła o wyznaczonych grupach ryzyka ze względu na nadfiolet aktywny.

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na aktywny UV	Dopuszczalny czas ekspozycji t_{maxUV}	
					s	h
ŚWIETŁÓWKI KOMPAKTOWE						
1.	1S	DuluxStar TARGET SPOT R63 11W/825	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
2.	2S	SPOT 63 ES 11W	GE	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
3.	3S	LS-M 18W 2700 K	APOLLO	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na aktywny UV	Dopuszczalny czas ekspozycji $t_{\max UV}$	
					s	h
4.	4S	PAR38 Downlighter ES 23W/827	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
5.	14S	Dulux Value Classic A 15W/827	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
6.	15S	Mini Eco ES 20W	GE	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
7.	23S	DULUXSTAR Mini Ball 20W/2500 K	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
8.	24S	ECO AMBIANCE 14W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
9.	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	1	14 925	4,1
10.	30S	Energy Saving 15W/2700 K	GE	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
11.	31S	DULUXSTAR Mini Ball 15W/2700 K	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
12.	32S	Downlighter R 80 20W/827	PHILIPS	1	23 437	6,5
13.	33S	Żarówka energooszczędna 7W/2700 K	Budget	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
14.	34S	MASTER PL-Electronic 20W/827	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
15.	35S	Żarówka energooszczędna 15W, WW opalizowana	Budget	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
16.	36S	Żarówka energooszczędna 15W, WW	Budget	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
17.	37S	TORNADO CDL 23W/865	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
18.	38S	TORNADO HIGH LUMEN 45W/827	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
19.	39S	TORNADO 23W/827	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
20.	40S	MASTER PL-Electronic 33W/827	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na aktywny UV	Dopuszczalny czas ekspozycji $t_{\max UV}$	
					s	h
21.	41S	MASTER PL-Electronic 33W/865	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
ŹRÓDŁA LEDOWE						
22.	5L	PARATHOM GLOBE G95 3W, WW	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
23.	6L	Active Jet AJE-W 4827WHP 2,8W/3500 K	ACTIVE JET	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
24.	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	1	17 647	4,9
25.	8L	Master LED NR 63 MV 7 W, WW, 40D (4200 K)	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
26.	9L	POWER LED 3W, CW	KANLUX	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
27.	10L	PARATHOM PAR 16, 5W, WW, 20D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
28.	11L	PARATHOM PAR 16, 2W, CW, 30D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
29.	12L	ACRICHE R50, 4,5W, CW	ELGO	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
30.	13L	ACRICHE R50, 4,5W WW	ELGO	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
31.	16L	LED Novallure 2W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
32.	19L	PARATHOM R50, 6W, WW, 15D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
33.	26L	Econic 5W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
34.	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	1	23 076	6,4
ŻARÓWKI HALOGENOWE						
35.	17H	HALOPAR 20 ALU 50W, 30D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
36.	18H	HALOGEN SPOT R63 ES 42W, 30D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Grupa ryzyka ze względu na aktywny UV	Dopuszczalny czas ekspozycji $t_{\max UV}$	
					s	h
37.	20H	Eco Classic 30 Dimmable 140W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
38.	21H	Eco Classic Dimmable 70W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
39.	22H	Eco Classic 30 Dimmable 105W	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
40.	25H	HALOGEN SPOT R50 ES 28W, 30D	OSRAM	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	
41.	42H	EcoClassic Dimmable 20W ES	PHILIPS	wolna od ryzyka	Powyżej 8 h	

W przypadku czterech spośród badanych źródeł światła (27S, 32S, 7L i 29L – patrz tabela A.5.2), które zakwalifikowano do grupy niskiego ryzyka ze względu na nadfiolet aktywny, łączna ekspozycja oczu i skóry w ciągu zmiany roboczej może stanowić o zagrożeniu dla zdrowia. Dlatego też przy stosowaniu tych źródeł należy brać pod uwagę wyznaczony dla nich dopuszczalny czas ekspozycji podany w tabeli A5.2.

W celu zwiększenia dopuszczalnego czasu ekspozycji (powyżej 8 godzin), a tym samym zmiany klasyfikacji grupy ryzyka tych źródeł światła (27S, 32S, 7L i 29L – patrz tabela A.5.2) do grupy wolnej od ryzyka ze względu na nadfiolet aktywny UV źródła te należałoby stosować w większej odległości od eksponowanych części ciała. Graniczne odległości bezpieczne, przy których dopuszczalny czas ekspozycji wynosi powyżej 8 godzin podano w rozdziale A5.1.2.

A5.1.2. Graniczne odległości bezpieczne

W tabeli A5.3. zestawiono odległości pomiaru (d_{500lx}) czterech źródeł światła (27S, 32S, 7L i 29L), dla których występowała grupa ryzyka 1 ze względu na nadfiolet aktywny. Oznacza to, że zagrożenie aktywnością UV nieosłoniętej skóry i oczu występuje po przekroczeniu $t_{\max UV}$ (patrz tabela A5.3) wyznaczonego dla danego źródła jeśli źródło znajduje się w odległości pomiaru d_{500lx} . Jeśli odległość położenia źródła od eksponowanych części ciała będzie większa, to zgodnie z fotometrycznym prawem odległości, natężenie napromienienia będzie malało z kwadratem odległości między źródłem a powierzchnią naświetlaną, co przedstawia poniższy wzór

$$E_1 \cdot d_1^2 = E_2 \cdot d_2^2 \quad (A5.3)$$

gdzie:

E_1 - natężenie napromienienia w odległości d_1

E_2 - natężenie napromienienia w odległości d_2 .

Stosując fotometryczne prawo podległości, na podstawie wzoru A5.4, wyznaczono graniczne odległości bezpieczne (d_g), przy których natężenie napromienia aktywniczego będzie równe $E_s = 0,001 \text{ W/m}^2$ (tj. wartość graniczna dla grupy wolnej od ryzyka - patrz tabela A3.4 rozdział A3.1.4) a dopuszczalny czas ekspozycji przekroczy 8 godzin.

$$d_g = \sqrt{\frac{E_{s500} \cdot d_{500lx}^2}{0,001}} \quad (A5.4)$$

gdzie

d_{500lx} - odległość pomiaru, przy której występowało natężenie oświetlenia 500 lx

d_g – graniczna odległość bezpieczna ze względu na zagrożenie aktywniczego UV

E_{s500} - wyznaczone z pomiarów natężenie napromienienia aktywniczego w odległości d_{500lx}

Tabela A5.3

Graniczne odległości bezpieczne ze względu na zagrożenie aktywniczego UV.

Lp	Kod źródła	Typ źródła	Producent	Odległość pomiaru, d_{500lx} [m]	Graniczna odległość bezpieczna, d_g [m]
1	27S	PLATINUM 24W/827	POLUX	0,47	0,67
2	32S	Downlighter R 80 20W/827	PHILIPS	0,475	0,54
3	7L	AccentLED 4W, WW, 10D	PHILIPS	1,53	1,99
4	29L	PARATHOM CLASSIC A 40 8W/3000K	OSRAM	0,37	0,42

Analizując wartości granicznych odległości bezpiecznych dla poszczególnych źródeł światła zestawionych w tabeli A5.3. można stwierdzić, że:

- w trzech przypadkach niewielkie odsunięcie źródeł od ekspozowanych części ciała odpowiednio o: 5 cm (27S), 6,5 cm (32S) lub 20 cm (29L) powoduje uzyskanie bezpiecznej wartości natężenia napromienia dla 8 godzinnej ekspozycji

- w jednym przypadku - dla źródła ledowego (7L) odległość należałoby zwiększyć o 44 cm
- źródła ledowego (7L) nie można stosować do oświetlenia miejscowego, gdyż graniczna odległość bezpieczna wynosi 1,99 m
- źródła świetłówkowe (27S i 32 S) oraz źródło ledowe 29L można stosować do oświetlenia miejscowego pod warunkiem, że zachowane będą graniczne odległości bezpieczne, lub ograniczony będzie czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej.

A5.2. Metody eliminacji lub ograniczania zagrożeń związanych z polami elektromagnetycznym w eksploatacji urządzeń oświetleniowych

Pola elektromagnetyczne występują w otoczeniu urządzeń oświetleniowych powstają w wyniku:

- działania instalacji zasilającej urządzenie energią elektryczną
- zjawisk związanych z wytwarzaniem promieniowania optycznego w źródle światła (np. zapłonu i wyładowań gazu w świetlówce).

Pola elektromagnetyczne układów zasilających mają częstotliwości z pasma 50-1000 Hz, ze względu na zniekształcenia harmoniczne. Natomiast pola związane z wytwarzaniem promieniowania optycznego należą do różnych pasm, w świetlówkach są to pola średniej częstotliwości (częstotliwości podstawowe z pasma 10-75 kHz), a w źródłach ledowych i halogenowych pola z pasma małych częstotliwości, jak pola układu zasilającego.

Przy wszystkich badanych urządzeniach oświetleniowych, w odległości przekraczającej 50 cm występują pola elektromagnetyczne strefy bezpiecznej. Jednakże ze względu na postępujący rozwój wiedzy naukowej na temat natury procesów oddziaływania pól elektromagnetycznych na ludzi oraz wynikające stąd zagrożenia zdrowia, w licznych zaleceniach międzynarodowych promowane są działania ograniczające narażenie ludzi na pola elektromagnetyczne, szczególnie w przypadku oddziaływań długotrwałych, do których należy zaliczyć wielogodzinne narażenie na pola elektromagnetyczne urządzeń oświetleniowych eksploatowanych w środowisku pracy. Z tego względu powinny być stosowane dostępne środki organizacyjne i techniczne zmniejszania ekspozycji. Taki sposób postępowania zalecany jest przez organizacje międzynarodowe, m.in. WHO [50] i zwany zasadą ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), zgodnie z którą narażenie na pola elektromagnetyczne wytwarzane sztucznie, a działające na organizm ludzki, powinno być ograniczane maksymalnie na tyle, na ile tylko jest to w sposób rozsądny możliwe do osiągnięcia. Podobna motywacja związana jest ze wspomnianymi wymaganiami oznakowania TCO dla sprzętu komputerowego i biurowego. Uzasadnione jest to szczególnie w przypadku ekspozycji chronicznej jaka może mieć miejsce przy stałym używaniu przez pracowników urządzeń oświetleniowych z uwagi na charakter wykonywanej pracy.

Ograniczenie narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne pochodzące od urządzeń oświetleniowych można uzyskać poprzez:

- właściwe dobieranie rodzaju urządzeń oświetleniowych do usytuowania opraw oświetleniowych na stanowiskach pracy

- wyposażanie stanowisk pracy w urządzenia charakteryzujące się zmniejszoną emisją pól lub stosowanie opraw ekranujących pola elektromagnetyczne instalacji zasilającej i źródła światła.

W oparciu o wykonane badania parametrów charakteryzujących pola elektromagnetyczne emitowane przez różnego typu urządzenia oświetleniowe i ocenę wyników w omówionej skali 5-stopniowej można stwierdzić:

- przy wszystkich zamiennikach żarówek głównego szeregu występują pola elektromagnetyczne o częstotliwościach przekraczających 50 Hz, jakich żarówki nie emitują
- przy wszystkich urządzeniach oświetleniowych (zarówno żarówkach jak i zamiennikach) występują pola elektryczne małych częstotliwości przekraczające Poziom 0 – ograniczenie ich oddziaływania na pracowników można uzyskać stosując ekranowanie opraw oświetleniowych i instalacji zasilającej lub poprzez zlokalizowanie stanowisk pracy w odległości kilku metrów od opraw oświetleniowych i instalacji zasilającej
- przy świetlówkach zintegrowanych występują pola elektryczne średnich częstotliwości znacznie przekraczające Poziom 0 – celem ograniczenia ich oddziaływania na pracowników, takich zamienników żarówek głównego szeregu nie powinno się stosować w oprawach oświetlenia miejscowego
- przy źródłach ledowych i żarówkach halogenowych poziom pola magnetycznego małej częstotliwości jest porównywalny z poziomem pola magnetycznego żarówek – takie źródła światła powinny być preferowane przy oświetleniu miejscowym
- przy źródłach ledowych i żarówkach halogenowych nie występuje emisja pól elektromagnetycznych średnich częstotliwości.

A6. Bibliografia

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. Biological Exposure Indices. 2009.
2. Bertoldi P.; Atanasiu B. Electricity Consumption and Efficiency Trends in the enlarged European Union. Insitute for Environment and Sustainability 2007; EUR 22753 EN.
3. Council of the European Union Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999/519/EC, Official Journal of the European Communities, L 199/59.
4. Felchorski W., Stanioch W., Kolorymetria trójkromatyczna. WNT, Warszawa, 1973.
5. Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących eko-projektu dla produktów wykorzystujących energię (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej Nr L 190 z dnia 22 lipca 2005 r.)
6. Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 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 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz. Urz. UE Nr L 114 z 27.04.2006, str. 38).
7. Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (osiemnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 184, 2004 (<http://www.doc.ukie.gov.pl/dt/32004L0040.doc>).
8. Gryz K., Karpowicz J., Jankowska E., Metoda badania i oceny zagrożeń elektromagnetycznych w pomieszczeniach biurowych, Bezpieczeństwo Pracy nr 2, str. 11-15, 2007.
9. Gryz K., Karpowicz J., Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania, Przegląd Elektrotechniczny nr 12, 2004, 1188-1193.
10. Gryz K., Karpowicz J.: Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. Podstawy i Metody Oceny Środowisko Pracy, 2008, nr 4(58), s. 137-171.
11. IARC Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields, IARC Monographs 80, IARC Press: Lyon, 2002, 429.
12. ICNIRP Standing Committee on Epidemiology, Ahlbom A., Cardis E., Green A., Linet M., Savitz D. i wsp.: Review of the epidemiological literature on EMF and health. Environ. Health Perspect. 2001; 109 (Supl.6): 911–933.

13. Instructions for using the Optronic Laboratories 1000 Watt Tungsten Halogen lamp standards of total and spectral irradiance, Optronic Laboratories, Orlando USA, 1987.
14. Karpowicz J., Bortkiewicz A., Gryz K., Kubacki R., Wiaderkiewicz R.: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz - 300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE. Podstawy i Metody Oceny Środowisko Pracy, 2008, nr 4(58), s. 7-45.
15. Karpowicz J., Gryz K.: Pola elektromagnetyczne i zagrożenia elektromagnetyczne. W: Bezpieczeństwo i higiena pracy pod red. naukową p. Red. nauk. D. Kordecka. Warszawa, CIOP-PIB, 2008, 247-266.
16. Karpowicz J., Gryz K.: Pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i nieprzemysłowych - Kształtowanie środowiska pracy. Warszawa, CIOP-PIB, 2007.
17. Manual No M000037, Instructions for using the Optronic Laboratories OL UV-40 ultraviolet standard, Optronic Laboratories, Orlando USA, 1998.
18. Manual No M000077, OL Series 455 Integrating Sphere Calibration Standard. Optronic Laboratories, Orlando USA, 1998.
19. Manual No M000086, OL 450 Controller, Optronic Laboratories, Orlando USA, 1998.
20. Manual No M000031, OL Series 730-9 Reflex telescope, Optronic Laboratories, Orlando USA, 2000.
21. Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU nr 169, poz. 1650, 2003.
22. Operation Manuals no M000158. OL Series 750 Automated Spectroradiometric Measurement System. Optronic Laboratories, Orlando USA, 1997.
23. Pawlak A.: Diody świecące jako źródła światła. Bezpieczeństwo Pracy nr 12, 2007.
24. Pawlak A., Przyszłość oświetlenia elektrycznego – poprawa efektywności energetycznej. Bezpieczeństwo Pracy nr 3, 2009.
25. Pawlak A. Wolska A., Oświetlenie pomieszczeń i stanowiska pracy. Wyd. 5 poprawione. Warszawa CIOP-PIB, 2009.
26. Plan działań na rzecz rozpowszechniania energetycznie efektywnej technologii oświetleniowej w Europie. European Lamp Companies Federation. B-1030 Brussels.
27. PN-89/E-04040.00 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary fotometryczne. Wymagania ogólne.
28. PN-83/E-04040.03 Pomiary fotometryczne i radiometryczne. Pomiar natężenia oświetlenia.
29. PN-90/E-01005. Technika świetlna. Terminologia
30. PN-EN 62471:2008 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.
31. PN-EN 12464-1:2004. Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń.
32. PN-T-06580-1:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1. Terminologia.
33. PN-T-06580-3:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.

34. Raport of calibration of one ultraviolet standard of spectral irradiance OL UV-40, Optronic Laboratories, Orlando USA, 1999.
35. Raport of calibration of one standard of spectral irradiance OL 200 IR, Optronic Laboratories, Orlando USA, 1999.
36. Reilly P.J., Applied Bioelectricity. From Electrical Stimulation to Electropathology, Springer-Verlag New York, Inc., 1998.
37. Report of Executive Agency for Health and Consumers (EAHC) - Promoting Healthy Environments with a Focus on the Impact of Action on Electromagnetic Fields, August 2010 (87 stron).
38. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 4 września 2008 r. w sprawie śródkresowego przeglądu Europejskiego planu działania na rzecz środowiska i zdrowia na lata 2004-2010 ([2007/2252\(INI\)](http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A6-2008-0260&language=PL&mode=XML)), <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A6-2008-0260&language=PL&mode=XML>.
39. Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne. DzU nr 100, poz. 643, 2010.
40. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 141, poz. 950, 2010.
41. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833, 2002 (zm. DzU nr 212, poz. 1759, 2005).
42. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU 2003 r. nr 169, poz. 1650, 2003.
43. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU nr 192 poz. 1883, 2003.
44. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU 1996, nr 69, poz. 332 (zm. 1997, nr 60, poz. 375; 1998, nr 159, poz. 1057; 2001, nr 37, poz. 451).
45. Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 73, poz. 645, 2005.
46. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU nr 114, poz. 545, 1996 (zm. DzU nr 127, poz. 1092, 2002).
47. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU nr 200, poz. 2047 (zm. DzU 2005, nr 136, poz. 1145).
48. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, Opinion adopted at the 28th plenary on 19 January 2009, http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf.
49. Ślęk B.: Górczewska M. Analiza i ekspertyzy dotyczące źródeł światła. Ministerstwo Gospodarki. Departament Energetyki. Grudzień 2008.

50. WHO Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF), 2007, http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html.
51. Wolska A., Nielaserowe promieniowanie optyczne w Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne, CIOP-PIB, Warszawa, 2010.
52. Żagan W., Urzędowa wymiana żarówek. Efektywność energetyczna. Rynek oświetleniowy nr 10, dodatek, 2010.
53. www.tcodevelopment.com.
54. www.emfs.info/Related+Issues/limits/world/
55. GUS Rocznik statystyczny. Zakłady Wydawnictw Statystycznych, Warszawa.