

Grzegorz Owczarek, Grzegorz Gralewicz

AKTYWNE I PASYWNE

OPTYCZNE FILTRY OCHRONNE

**– ZASADA DZIAŁANIA,
PODSTAWY KONSTRUKCJI**

CIOP  **PIB**

Warszawa 2016

Opracowano i wydano w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014–2016) finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy:

Grzegorz Owczarek, Grzegorz Gralewicz

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki:

Anna Antoniszewska

Opracowanie redakcyjne:

Lucyna Wyciszkiewicz-Pardej

Opracowanie graficzne:

Anna Borkowska

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy

– Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2016



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

WSTĘP	5
ZAGROŻENIA DLA OCZU WYWOŁANE PROMIENIOWANIEM OPTYCZNYM	7
ZASADA DZIAŁANIA OPTYCZNYCH FILTRÓW OCHRONNYCH	9
PASYWNE FILTRY OCHRONNE	11
AKTYWNE FILTRY OCHRONNE	14
DODATEK	19
SŁOWNIK NAJWAŻNIEJSZYCH POJĘĆ	22
BIBLIOGRAFIA	28

Zagadnienia przedstawione w niniejszym opracowaniu są przeznaczone dla szerokiego kręgu osób zainteresowanych ochroną oczu przed promieniowaniem optycznym z wykorzystaniem środków ochrony indywidualnej. Dotyczy to w szczególności producentów i dystrybutorów środków ochrony indywidualnej, jak również ich użytkowników. Celem broszury jest usystematyzowanie wiedzy z zakresu działania i podstaw konstrukcji optycznych filtrów ochronnych.

Ochrona oczu przed czynnikami zewnętrznymi to naturalny mechanizm obronny. Spojówka oka chroni je przed zanieczyszczeniami i zakażeniem w wyniku wytworzenia cienkiej warstwy lekko oleistego płynu łzowego. W wielu sytuacjach występujących zarówno na stanowiskach pracy, jak i w życiu codziennym naturalna ochrona oka przed czynnikami zewnętrznymi jest niewystarczająca. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie środków ochrony oczu. Powinny być one stosowane tam, gdzie występują następujące zagrożenia:

- ▶ uderzeniem (np. odpryski ciał stałych)
- ▶ promieniowaniem optycznym (np. promieniowanie powstające w procesach spawalniczych, olśnienie słoneczne, promieniowanie laserowe)
- ▶ pyłami i gazami (np. pył węglowy lub aerozole szkodliwych substancji chemicznych)
- ▶ kroplami i rozbryzgami cieczy (np. rozbryzgi powstające podczas przelewania substancji ciekłych)

¹ PN-EN 166: 2005. *Ochrona indywidualna oczu. Wymagania.*

- ▶ stopionymi metalami i gorącymi ciałami stałymi (np. odpryski stopionych metali powstające w procesach hutniczych)
- ▶ łukiem elektrycznym (np. łuk elektryczny powstający podczas prowadzenia prac pod napięciem).

Do ochrony przed wymienionymi czynnikami służą następujące cztery podstawowe kategorie środków ochrony oczu:

- ▶ okulary ochronne
- ▶ gogle ochronne
- ▶ osłony twarzy
- ▶ osłony spawalnicze (do tej kategorii ochron oczu zaliczamy spawalnicze: tarcze, przyłbice, gogle i kaptury).

Ochrony oczu mogą być również elementem sprzętu ochrony układu oddechowego (wizjery w aparatach powietrzno-butłowych) lub środków ochrony głowy (osłony montowane do przemysłowych hełmów ochronnych).

Podstawowym elementem w wymienionych kategoriach środków ochrony oczu są optyczne filtry ochronne. Wszystkie kategorie środków ochrony oczu składają się z części przeziernej (określanej jako: wizjery, szybki, siatki lub filtry) oraz z ramki (dla okularów i gogli) lub korpusu wraz z nagłowiem (dla osłon).

Nowym podejściem w projektowaniu filtrów ochronnych są konstrukcje tzw. filtrów aktywnych (automatycznych). W filtrach tego typu wykorzystywane są technologie umożliwiające zmianę **gęstości optycznej**² filtru podczas jego użytkowania. Zmiana gęstości optycznej filtru powoduje zmianę przepuszczania promieniowania optycznego przechodzącego przez filtr.

² Pojęcie gęstości optycznej wyjaśniono na s. 23.

ZAGROŻENIA DLA OCZU WYWOŁANE PROMIENIOWANIEM OPTYCZNYM

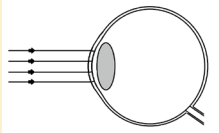
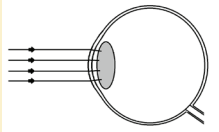
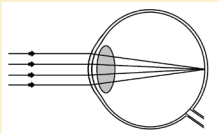
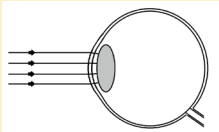
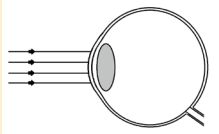
Za wszystko, co widzimy, jest odpowiedzialne promieniowanie optyczne, a właściwie pewna jego część, którą nazywamy promieniowaniem widzialnym. Jeśli moc tego promieniowania jest zbyt duża – oczy są narażone na tzw. olśnienie. Każdy z nas intuicyjnie odwraca wzrok od takich miejsc jak np. stanowiska spawalnicze, gdyż podczas spawania emitowana jest bardzo duża ilość promieniowania widzialnego, jak również promieniowanie nadfioletowe oraz podczerwone. Nadmierna ilość promieniowania optycznego docierająca do oczu może być powodem odwracalnych lub nieodwracalnych uszkodzeń.

W miejscach i sytuacjach, w których występuje zagrożenie promieniowaniem optycznym, należy stosować środki ochrony oczu wyposażone w specjalne optyczne filtry ochronne.

Nadmierna ekspozycja oka na promieniowanie optyczne (niezależnie od zakresu tego promieniowania) może być powodem dolegliwości, o których mowa w tabeli 1³.

³ PN-EN 60825-1:2014. *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Część 1: klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika.*

Tab. 1. Zestawienie efektów towarzyszących nadmiernej ekspozycji oka na promieniowanie optyczne

Zakres widmowy wg CIE ⁴	Efekty szkodliwe towarzyszące nadmiernej ekspozycji oka na promieniowanie optyczne	Głębokość wnikania promieniowania optycznego do oka
Nadfiolet C (od 180 nm do 280 nm)	Zapalne uszkodzenie rogówki	
Nadfiolet B (od 280 nm do 315 nm)		
Nadfiolet A (od 315 nm do 400 nm)	Zaćma	
Widzialny (od 400 nm do 780 nm)	Fotochemiczne i termiczne uszkodzenie siatkówki	
Podczerwień A (od 780 nm do 1400 nm)	Zaćma, oparzenie siatkówki	
Podczerwień B (od 1,4 μm do 3,0 μm)	Przymglenie rogówki, zaćma, oparzenie rogówki	
Podczerwień C (od 3,0 μm do 1,0 mm)	Oparzenie rogówki	

⁴ CIE – *International Commission of Illumination* (Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa).

ZASADA DZIAŁANIA OPTYCZNYCH FILTRÓW OCHRONNYCH

Zadaniem wszystkich optycznych filtrów ochronnych jest zablokowanie takiej ilości szkodliwego promieniowania optycznego, aby ilość promieniowania przechodzącego przez filtr nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla oczu, wyrażonych wartościami **maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE)**⁵.

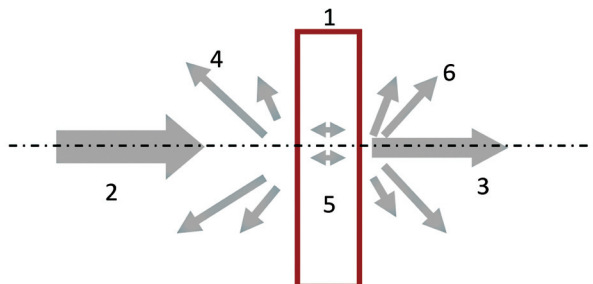
Zakres promieniowania optycznego, przed którym chronią optyczne filtry, zawiera się między 200 nm (promieniowanie nadfioletowe) a 2000 nm (promieniowanie podczerwone). Promieniowanie optyczne, przechodząc przez dowolny element optyczny (również każdy optyczny filtr ochronny), podlega trzem zasadniczym procesom, tj. transmisji i rozproszeniu do przodu (T), odbiciu i rozproszeniu do tyłu (R) oraz absorpcji (A). Podstawowe równanie bilansu energetycznego wyraża zależność między transmisją, odbiciem a absorpcją i jest przedstawione następującym wzorem:

$$A + R + T = 1, \quad (1)$$

gdzie A , R i T wyrażone są w jednostkach względnych.

⁵ Pojęcie MDE wyjaśniono na s. 24.

Zasadę tą zilustrowano na rysunku 1⁶.



Rys. 1. Wiązka pomiarowa przechodząca przez optyczny filtr ochronny, gdzie: 1 – optyczny filtr ochronny, 2 – wiązka padająca promieniowania optycznego, 3 – wiązka przechodząca promieniowania optycznego, 4 – rozproszenie wsteczne, 5 – część promieniowania optycznego zaabsorbowana w próbce, 6 – rozproszenie do przodu ⁷

⁶ Szczegółowe wyjaśnienie zasady działania filtrów optycznych zamieszczono w dodatku (s. 19-21).

⁷ G. Owczarek, P. Jurowski: *Zmiany transmisji promieniowania optycznego przez soczewki wewnątrzgałkowe eksplantowane z powodu zjawiska glisteningu*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2012, 255.

PASYWNE FILTRY OCHRONNE

Aktualnie w środkach ochrony oczu stosowane są głównie filtry pasywne, dla których przepuszczanie promieniowania optycznego podczas użytkowania nie ulega zmianie. Do konstrukcji pasywnych filtrów ochronnych stosowane jest szkło nieorganiczne lub szeroka gama tworzyw sztucznych (głównie poliwęglany). Modyfikacja charakterystyki widmowej „czystego” szkła lub tworzywa sztucznego polega na dodaniu do materiału, z którego wykonuje się filtr (tzw. materiału podłoża), barwników zmieniających przepuszczanie filtra dla zakresu widzialnego (tzw. zaciemnienie filtra) i (lub) przepuszczanie dla zakresów promieniowania nadfioletowego lub podczerwieni. Dodatkowo powierzchnie filtrów pasywnych mogą być pokrywane warstwami modyfikującymi przepuszczanie lub odbicie padającego na nie promieniowania optycznego (głównie takie zewnętrzne powierzchnie filtrów, jak warstwy przeciwodblaskowe) oraz warstwami zapobiegającymi zaparowaniu (nanoszone na wewnętrzną, od strony oka, powierzchnię filtra).

Ochronne działanie filtra jest określone dla konkretnego zakresu długości fal szkodliwego promieniowania optycznego, co wiąże się ściśle z rodzajem źródła, z którego promieniowanie to jest emitowane.

Pasywne filtry ochronne chronią przed:

- ▶ nadfioletem
- ▶ podczerwienią

- ▶ promieniowaniem widzialnym
- ▶ promieniowaniem laserowym
- ▶ promieniowaniem emitowanym podczas spawania i w technikach pokrewnych.

Filtry chroniące przed nadfioletem⁸ są wykorzystywane głównie do ochrony przed promieniowaniem z takich źródeł, jak: lampy rtęciowe niskoprężne (m.in. lampy używane do wzbudzenia fluorescencji lub „czarne światło”, lampy aktywne oraz bakteriobójcze), lampy rtęciowe średnioprężne (m.in. lampy fotochemiczne), lampy rtęciowe wysokoprężne i lampy halogenowe (m.in. lampy słoneczne używane w solariach).



Filtry chroniące przed podczerwienią⁹ służą do ochrony pracowników narażonych na promieniowanie podczerwone występujące głównie na gorących stanowiskach pracy¹⁰. Pojęcie „gorące stanowiska pracy” dotyczy przede wszystkim przemysłu hutniczego i odlewniczego, gdzie termicznymi źródłami promieniowania są: płynna stal, żeliwo, metale żelazne i nieżelazne, żużel, masa szklana oraz rozgrzane do

Fot. 1. Osłona twarzy strażackiego hełmu ochronnego

⁸ PN-EN 170:2005. *Ochrona indywidualna oczu – Filtry chroniące przed nadfioletem – Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.*

⁹ PN-EN 171: 2005. *Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed podczerwienią. Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.*

¹⁰ 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 L 114 z 27 kwietnia 2006 r., s. 38–59.

wysokiej temperatury ściany pieca, kadzi, wanien szklarskich itp. Stanowiska takie występują również w pozostałych gałęziach przemysłu, gdzie źródłami są rozgrzane do wysokich temperatur elementy i ściany różnego rodzaju pieców (np. pieców hartowniczych). Filtry chroniące przed promieniowaniem podczerwonym są również stosowane jako osłony twarzy w strażackich hełmach ochronnych (patrz fotografia 1).

Filtry chroniące przed promieniowaniem widzialnym są przede wszystkim montowane w okularach przeciwsłonecznych¹¹, których głównym zadaniem jest ochrona oka przed zbyt silnym promieniowaniem słonecznym, zmniejszenie zmęczenia oka oraz poprawa bodźców wzrokowych.

Filtry chroniące przed promieniowaniem laserowym¹² stanowią specyficzną grupę filtrów ze względu na istotne różnice w charakterystyce promieniowania laserowego, w porównaniu do klasycznych źródeł promieniowania optycznego (zarówno sztucznych, jak i naturalnych). Ich zadaniem jest ochrona przed konkretną długością fali monochromatycznego promieniowania laserowego o nieporównywalnie większej (w stosunku do źródeł klasycznych) gęstości mocy lub energii.

Filtry spawalnicze i filtry dla technik pokrewnych¹³ są używane podczas spawania elektrycznego (wszystkie dostępne techniki) i gazowego, a także podczas cięcia strumieniem plazmy.

¹¹ PN-EN ISO 12312-1: 2014. *Ochrona oczu i twarzy. Okulary przeciwsłoneczne i odpowiadające im ochrony oczu. Część 1 – Okulary przeciwsłoneczne do zastosowań ogólnych.*

¹² PN-EN 207:2010. *Ochrona oczu i twarzy. Filtry i ochrony oczu chroniące przed promieniowaniem laserowym.*

¹³ PN-EN 169:2005. *Ochrona oczu i twarzy. Filtry spawalnicze i filtry dla technik pokrewnych. Wymagania i zalecane stosowanie.*

AKTYWNE FILTRY OCHRONNE

Zmiany gęstości optycznej w materiałach służących do konstrukcji aktywnych optycznych filtrów ochronnych mogą być wywołane:

- ▶ bezpośrednio promieniowaniem optycznym (np. efekt fotochromowy)
- ▶ pośrednio przez zainicjowanie promieniowaniem optycznym impulsu elektrycznego wywołującego zmiany w strukturze materiału, z którego wykonany jest filtr (np. zmiany struktury substancji ciekłokrystalicznych)
- ▶ efektem polaryzacji.

EFEKT FOTOCHROMOWY

Najbardziej znanym efektem umożliwiającym zmianę gęstości optycznej filtrów ochronnych jest efekt fotochromowy. Efekt ten jest wywołany promieniowaniem optycznym z zakresu nadfioletu (UV). W wyniku padania promieniowania nadfioletowego na materiały fotochromowe ulegają one zaciemnieniu, a więc zwiększa się również ich gęstość optyczna. Poziom przepuszczania promieniowania widzialnego przechodzącego przez filtr fotochromowy jest więc regulowany zmianami natężenia promieniowania nadfioletowego (UV) zachodzącymi w środowisku użytkowania filtrów.

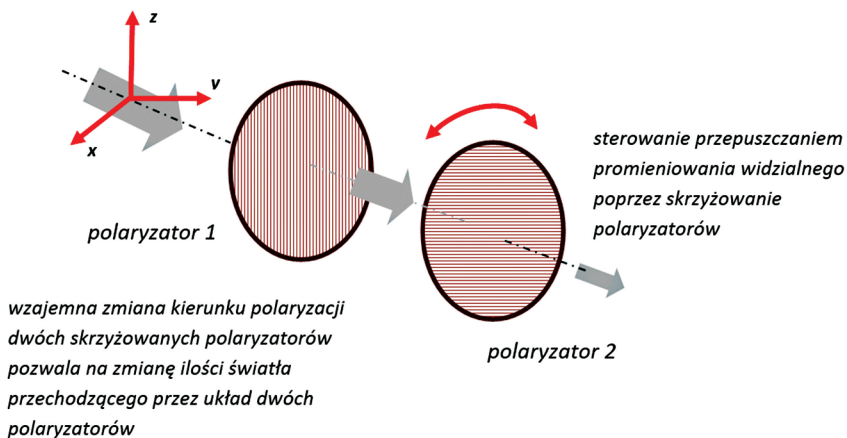
Efekt fotochromowy jest powszechnie wykorzystywany do konstrukcji soczewek okularowych wykorzystywanych w optyce oftalmicznej oraz w filtrach stosowanych okularach przeciwsłonecznych.

Występuje on dla szerokiego zakresu widmowego nadfioletu. Materiały fotochromowe stosowane w optyce oftalmicznej ulegają zaciemnieniu zarówno pod wpływem promieniowania nadfioletowego z zakresu UV-B (280–315 nm) i UV-A (315–400 nm) występującego w atmosferze, jak i w wyniku oddziaływania sztucznych źródeł promieniowania nadfioletowego, emitującego promieniowanie z zakresu UV-C (100–280 nm). Przykładem rozwiązań, w których efekt fotochromowy jest także wykorzystywany dla zakresu promieniowania nadfioletowego emitowanego ze źródeł sztucznych (UV-C), jest konstrukcja fotochromowego automatycznego filtra spawalniczego¹⁴.

POLARYZACJA ŚWIATŁA

Promieniowanie optyczne emitowane z większości źródeł naturalnych i sztucznych jest zdepolaryzowane. Powszechnie stosowaną metodą ograniczenia ilości światła (np. techniki wykorzystywane w fotografii) jest wycięcie części promieniowania widzialnego przez wykorzystanie dwóch skrzyżowanych polaryzatorów. Wykorzystanie efektu polaryzacji światła do konstrukcji aktywnego filtra ochronnego, o zmiennej transmisji w zakresie widzialnym, przedstawiono schematycznie na rysunku 2.

¹⁴ A. Pościk, J. Kubrak, L. Włodarski: *Barwniki fotochromowe, interferencja światła i automatyczne filtry spawalnicze*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2007, 228: 155–166.



Rys. 2. Filtr polaryzacyjny

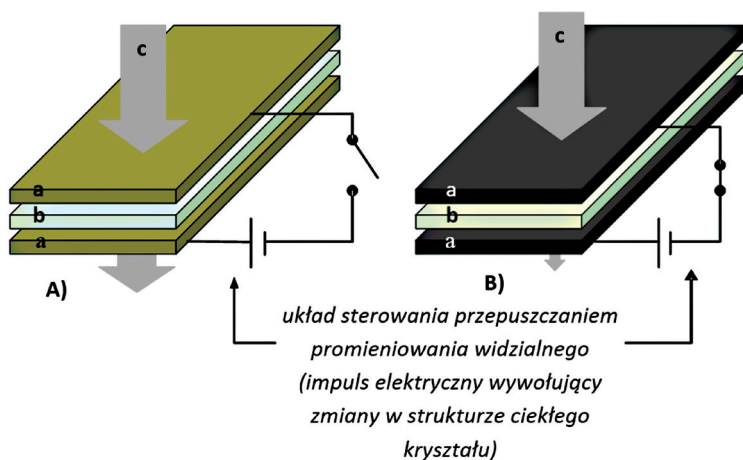
Na rysunku 2 założono, że czynnikiem odpowiedzialnym za proces sterowania przepuszczaniem promieniowania widzialnego jest wzajemne położenie dwóch skrzyżowanych polaryzatorów.

Sterowanie może być łatwo realizowane manualnie lub przez zastosowanie elektronicznego układu sterowania wyposażonego w czujnik promieniowania widzialnego.

EKRANY CIEKŁOKRYSTALICZNE

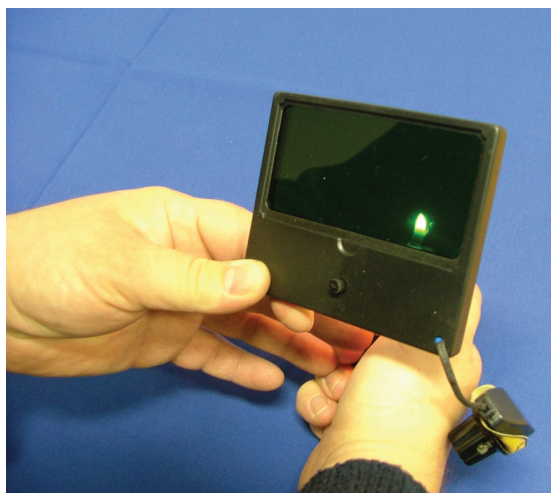
Efekt polaryzacji jest również wykorzystywany pośrednio w konstrukcjach ekranów ciekłokrystalicznych zmieniających gęstość optyczną w wyniku zmian kierunku direktora substancji ciekłokrystalicznej wypełniającej tego typu ekran. Funkcjonowanie tej zasady przedstawiono schematycznie na rysunku 3¹⁵.

¹⁵ 03.8.18: Opracowanie wytycznych dla optymalizacji konstrukcji automatycznych filtrów spawalniczych, uwzględniających rzeczywiste warunki użytkowania. Projekt CIOP-PIB, 2001



Rys. 3. Zasada zaciemniania ekranów ciekłokrystalicznych, gdzie: A) – ekran w stanie jasnym, B) – ekran w stanie ciemnym (płytki szklane – a, ciekły kryształ – b, promieniowanie optyczne – c)

Opisana zasada jest powszechnie stosowana do konstrukcji automatycznych filtrów spawalniczych. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie zmian gęstości optycznej filtra spawalniczego, dla której poziom przepuszczania promieniowania widzialnego zmienia się od kilku procent do tysięcznych części procenta¹⁶.



Na fotografii 2 przedstawiono typowy automatyczny filtr spawalniczy. Działanie tego typu filtra można łatwo sprawdzić z wykorzystaniem zapalniczki.

Fot. 2. Automatyczny filtr spawalniczy

¹⁶ PN-EN 379+A1:2010. *Ochrona indywidualna oczu. Automatyczne filtry spawalnicze.*

Obecnie pojawiają się również doniesienia o zastosowaniu technologii ciekłokrystalicznej także do okularów przeciwsłonecznych. Okulary tego typu wyposażone są w zasilane akumulatorami ekrany LCD (ang. *Liquid Crystal Display*) oraz miniaturową kamerę analizującą obraz otoczenia. W wyniku tej analizy wykrywane są na filtrze obszary wymagające lokalnego zaciemnienia¹⁷. W konstrukcji aktywnych przeciwsłonecznych okularów ciekłokrystalicznych wykorzystuje się również rozwiązania stosowane w okularach migawkowych przeznaczonych do oglądania obrazów trójwymiarowych (3D). Rozwiązania te są w fazie prototypów, a ich konstrukcja z uwagi na możliwość zainicjowania zaciemnienia jedynie na niewielkim obszarze (około 40 mm²) nie pozwala jeszcze na zastosowanie tej technologii w konstrukcji okularów ochronnych.

¹⁷ Materiały firmy Dynamic Eye, <http://www.dyneye.com/>.

Projektowanie wszystkich typów optycznych filtrów ochronnych polega na modyfikacji charakterystyk widmowych przepuszczania promieniowania optycznego. Charakterystyka optycznych filtrów ochronnych jest modyfikowana w celu zablokowania promieniowania optycznego, którego moc (energia) może wywołać uszkodzenie oczu. Filtry takie są projektowane głównie do ochrony przed szkodliwym promieniowaniem emitowanym na stanowiskach pracy (np. laserowym, emitowanym podczas spawania, nadfioletowym – UV, podczerwienią – IR oraz światłem mogącym wywołać ośnienie). Modyfikacja charakterystyk widmowych soczewek stosowanych w okularach korekcyjnych dotyczy głównie zakresu promieniowania nadfioletowego oraz światła. Powszechnie jest również wykorzystanie efektów fotochromowego i polaryzacji oraz zastosowanie na powierzchni soczewek interferencyjnych warstw przeciwoodblaskowych. Sposoby modyfikacji charakterystyk widmowych przepuszczania promieniowania optycznego filtrów i soczewek stosowanych w okularach korekcyjnych są również wykorzystywane w celu zapewnienia bezpieczeństwa na stanowiskach pracy (np. filtry spawalnicze, chroniące przed promieniowaniem laserowym itp.) oraz poprawy komfortu obserwacji (np. filtry stosowane w okularach przeciwsłonecznych, filtry polaryzacyjne eliminujące efekty mirażu na drodze, filtry przeciwoodblaskowe itp.). Wartość transmisji promieniowania optycznego przechodzącego przez optyczny filtr ochronny zależy od sposobu, w jaki została ona zdefiniowana. Najprostszym sposobem określenia transmisji promieniowania przez filtr jest wyznaczenie stosunku mocy strumienia padającego

na badany element optyczny do mocy strumienia przechodzącego przez ten element¹⁸. Pierwszym etapem w zdefiniowaniu wzoru umożliwiającego wyznaczenie uśrednionej transmisji promieniowania optycznego jest określenie zakresu długości fal, dla którego transmisja ta jest wyznaczana.

$$\tau_{\text{vsr}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau(\lambda) d\lambda}{N\Delta\lambda} \quad (2)$$

gdzie:

$N\Delta\lambda$ – liczba naturalna odpowiadająca wartości przedziału kroku pomiarowego przy pomiarach charakterystyki widmowej przepuszczania dla przedziału długości fali od λ_1 do λ_2 .

Kolejny etap polega na wyborze funkcji wagowych uwzględniających rozkłady źródeł oraz względnej czułości widmowej oka¹⁹. W przypadku gdy takich funkcji się nie uwzględnia, wartość transmisji jest określana jako średni widmowy współczynnik przepuszczania. W przypadku promieniowania widzialnego wartość transmisji może uwzględniać funkcje rozkładu widmowego dowolnego illuminantu (np. najczęściej rozpatrywanych standardowych illuminatów określających warunki oświetlenia sztucznego – illuminat A lub oświetlenia naturalnego – illuminant D65), jak również rozkład względnej czułości widmowej dla widzenia dziennego lub nocnego. Wyznaczona w ten sposób wartość współczynnika przepuszczania światła określona jest wzorem:

$$\tau_v = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (3)$$

¹⁸ G. Owczarek, G. Gralewicz, N. Skuza, P. Jurowski: *The light transmission through intraocular lenses with or without yellow chromophore (blue light filter) and its potential influence on functional vision at everyday environmental conditions*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2016, 22(1): 66–70, doi:10.1080/10803548.2015.1083733.

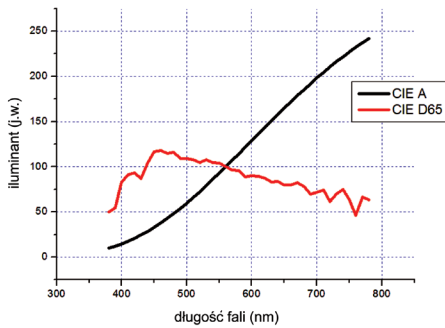
¹⁹ ISO 11664-1. *Colorimetry – Part 1: CIE standard colorimetric observers*.

gdzie:

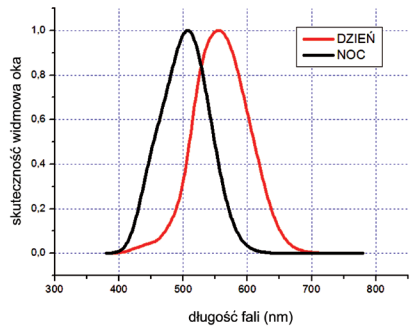
$S(\lambda)$ – rozkład illuminantu (np. D65 lub A)

$V(\lambda)$ – rozkład względnej czułości widmowej dla widzenia dziennego lub nocnego.

Rozkłady widmowe illuminantów A i D65 oraz rozkłady względnej czułości widmowej widzenia dziennego i nocnego przedstawiono na rysunku 4.



a)



b)

Rys. 4. Rozkłady widmowe: a) – illuminantów A i D65, b) – względnej czułości widzenia dziennego i nocnego

SŁOWNIK NAJWAŻNIEJSZYCH POJĘĆ

Absorpcja promieniowania optycznego: proces, w którym energia promieniowania optycznego przekształcana jest w inną formę energii przez oddziaływanie z materiałem, z którego wykonany jest optyczny filtr ochronny. W wyniku absorpcji promieniowania optycznego przez filtr może dochodzić m.in. do znacznego wzrostu temperatury filtra (głównie w wyniku absorpcji promieniowania podczerwonego).

Barwienie w masie: proces polegający na dodaniu do materiału, z którego wykonywane są ochronne filtry optyczne, barwników modyfikujących widmową charakterystykę przepuszczania. Określenie „barwienie w masie” odnosi się zwykle do dodania barwników zmieniających widmową charakterystykę przepuszczania filtra w zakresie widzialnym. Proces barwienia w masie wpływa jednak również na zmiany przepuszczania promieniowania optycznego dla zakresu promieniowania nadfioletowego i podczerwieni.

Filtr aktywny: optyczny filtr ochronny, dla którego przepuszczanie promieniowania optycznego podczas użytkowania filtra może ulegać zmianie. Najbardziej powszechnym przykładem filtrów aktywnych są filtry fotochromowe oraz automatyczne filtry spawalnicze.

Filtr interferencyjny: filtr, w którym wykorzystywane jest zjawisko interferencji w celu transmisji lub odbicia promieniowania optycznego dla określonego

zakresu widmowego. Filtr interferencyjny jest zbudowany z pewnej liczby cienkich warstw naniesionych na podłożu szklanym lub z tworzywa sztucznego.

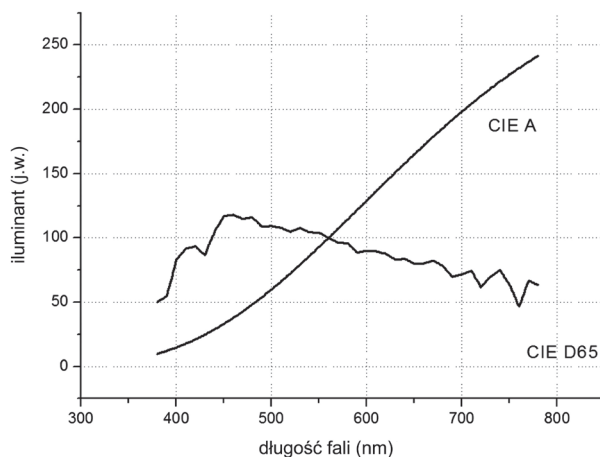
Filtr pasywny: optyczny filtr ochronny, dla którego przepuszczanie promieniowania optycznego podczas użytkowania filtra nie ulega zmianie.

Gęstość optyczna: jest określona dla danej długości fali ($OD(\lambda)$) i definiowana następującym wzorem:

$$OD(\lambda) = -\log(\tau(\lambda)) \quad (4)$$

gdzie: $\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczania.

Illuminat: teoretyczne źródło światła o zdefiniowanej charakterystyce widmowej. Do oceny optycznych filtrów ochronnych wykorzystywane są najczęściej funkcje rozkładu widmowego: illuminantu A dla oświetlenia sztucznego lub D65 dla oświetlenia naturalnego.



Rys. 5. Rozkłady widmowe illuminantów A i D65

Źródło: ISO/CIE 10526:1999. International Organization for Standardization (ISO). *CIE standard illuminants for colorimetry* (Standard No. ISO/CIE 10526:1999). Geneva, 1999.

Maksymalna dopuszczalna ekspozycja (MDE): poziom promieniowania optycznego, na który w normalnych warunkach mogą być ekspozycjonowane osoby bez doznania szkodliwych skutków.

Odbicie promieniowania optycznego: proces, w którym następuje odbicie promieniowania optycznego przez optyczny filtr ochronny, bez zmiany częstotliwości składowych monochromatycznych promieniowania. Wyróżniamy odbicie zwierciadlane (regularne) i odbicie rozproszone (dyfuzyjne).

Optyczny filtr ochronny: filtr optyczny służący do ochrony oczu przed szkodliwym promieniowaniem optycznym emitowanym ze źródeł naturalnych lub sztucznych. Zadaniem filtra jest osłabienie promieniowania optycznego do wartości dopuszczalnych, określonych maksymalną dopuszczalną ekspozycją (MDE). Ochronne działanie filtra jest określone dla konkretnego zakresu długości fal (np. filtr chroniący przed nadfioletem lub podczerwienią) lub konkretnego zastosowania (np. filtr spawalniczy).

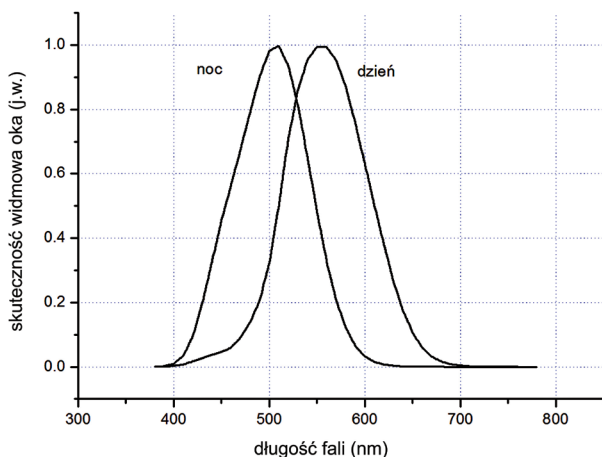
Podłoże: element optyczny, na który nanoszone są warstwy wewnętrzne/zewnętrzne modyfikujące charakterystykę przepuszczania optycznego filtra ochronnego (np. powłoki interferencyjne) lub poprawiające komfort jego użytkowania (np. warstwy zapobiegające zaparowaniu). Podłoże o odpowiednio zmodyfikowanej charakterystyce promieniowania optycznego (np. metodą barwienia w masie) może samo w sobie stanowić element do konstrukcji optycznego filtra ochronnego.

Powłoka zewnętrzna/wewnętrzna filtra: powłoki nanoszone na zewnętrzną/wewnętrzną stronę optycznego filtra ochronnego w celu modyfikacji widmowej charakterystyki przepuszczania i/lub poprawy komfortu użytkowania filtra.

Promieniowanie optyczne: promieniowanie elektromagnetyczne w obszarze długości fali między 100 nm a 1 mm. Promieniowanie to zazwyczaj dzielone jest na następujące zakresy widmowe:

- promieniowanie nadfioletowe (UV, ang. *ultraviolet*) do 100 nm do 380 nm
- promieniowanie widzialne (VIS, ang. *visible*) od 380 nm do 780 nm
- promieniowanie podczerwone (IR, ang. *infrared*) od 780 nm do 1 mm.

Skuteczność widmowa widzenia: wiąże się z tym, że proces widzenia ma charakter elektrochemiczny. Jeśli w siatkówce komórki pręcikowe lub czopki zostają pobudzone światłem, to chemiczna kompozycja pigmentu zawartego w tych komórkach receptorowych zmienia się chwilowo. Powoduje to wygenerowanie prądu elektrycznego do mózgu poprzez włókna nerwowe. Zmiany w charakterze odbioru bodźców wzrokowych w warunkach dziennych i nocnych odzwierciedla krzywa rozkładu względnej skuteczności widzenia ($V(\lambda)$). Pomiędzy „czystym” widzeniem dziennym (fotopowym) a nocnym (ekotopowym) rozróżnia się zakres widzenia mieszanego (mezopowego), który nie jest stosowany w metrologii.



Rys. 6. Rozkłady względnej skuteczności widzenia dziennego

Źródło: CIE Scotopic luminosity curve. 1951. Crawford (1949) *The scotopic visibility function. Proceedings of the Physical Society.* B62: 321–334.

Średni widmowy współczynnik przepuszczania: współczynnik wyznaczany według wzoru:

$$\tau_{\text{vsr}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau(\lambda) d\lambda}{N\Delta\lambda} \quad (5)$$

gdzie:

$N\Delta\lambda$ – liczba naturalna odpowiadająca wartości przedziału kroku pomiarowego przy pomiarach charakterystyki widmowej przepuszczania dla przedziału długości fali od λ_1 do λ_2 .

Środki ochrony oczu i twarzy: każdy rodzaj wyposażenia ochronnego, który co najmniej pokrywa obszar oczny.

Transmisja (przepuszczanie) promieniowania optycznego: proces, w którym część energii promieniowania optycznego przechodzi na drugą stronę filtra.

Widmowy współczynnik przepuszczania: podstawowym sposobem określenia przepuszczania jest wyznaczenie stosunku mocy strumienia padającego na dowolny element optyczny do mocy strumienia przechodzącego przez ten element. Ponieważ widmo strumienia padającego promieniowania optycznego zawiera wiele składowych o różnych długościach fali, stosunek mocy promieniowania padającego od strumienia przechodzącego dla dowolnie wybranej długości fali określa się jako widmowy współczynnik przepuszczania, który definiowany jest następującym wzorem:

$$\tau(\lambda) = \frac{\phi(\lambda)}{\phi_0(\lambda)} \quad (6)$$

gdzie:

$\phi_0(\lambda)$ – moc strumienia padającego na element optyczny dla długości fali λ

$\phi(\lambda)$ – moc strumienia przechodzącego przez element optyczny dla długości fali λ .

Wykres przedstawiający widmowe współczynniki przepuszczania w funkcji długości fali jest charakterystyką widmową przepuszczania elementu optycznego. Charakterystyka widmowa jest podstawą do wyznaczenia wartości współczynnika przepuszczania promieniowania optycznego.

Współczynnik przepuszczania światła: współczynnik wyznaczany według wzoru:

$$\tau_v = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (7)$$

gdzie:

$S(\lambda)$ – rozkład illuminantu (np. D65 lub A)

$V(\lambda)$ – rozkład względnej skuteczności widmowej dla widzenia dziennego.

BIBLIOGRAFIA

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 L 114 z 27 kwietnia 2006 r., s. 38–59.

Materiały firmy Dynamic Eye, <http://www.dyneye.com/>.

Owczarek G., Gralewicz G., Skuza N., Jurowski P.: *The light transmission through intraocular lenses with or without yellow chromophore (blue light filter) and its potential influence on functional vision at everyday environmental conditions*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2016, 22(1): 66–70, DOI:10.1080/10803548.2015.1083733.

Owczarek G., Jurowski P.: *Zmiany transmisji promieniowania optycznego przez soczewki wewnątrzgałkowe eksplantowane z powodu zjawiska glisteningu*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2012, 255.

PN-EN 166: 2005. *Ochrona indywidualna oczu. Wymagania.*

PN-EN 169: 2005. *Ochrona oczu i twarzy. Filtry spawalnicze i filtry dla technik pokrewnych. Wymagania i zalecane stosowanie.*

PN-EN 170:2005. *Ochrona indywidualna oczu – Filtry chroniące przed nadfioletem – Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.*

PN-EN 171: 2005. *Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed podczerwienią. Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.*

PN-EN 207: 2010. *Ochrona oczu i twarzy. Filtry i ochrony oczu chroniące przed promieniowaniem laserowym.*

PN-EN 379+A1: 2010. *Ochrona indywidualna oczu. Automatyczne filtry spawalnicze.*

PN-EN 60825-1:2014. *Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Część 1: klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika.*

PN-EN ISO 12312-1: 2014. *Ochrona oczu i twarzy. Okulary przeciwsłoneczne i odpowiadające im ochrony oczu. Część 1 – Okulary przeciwsłoneczne do zastosowań ogólnych.*

Pościk A., Kubrak J., Włodarski L.: *Barwniki fotochromowe, interferencja światła i automatyczne filtry spawalnicze*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2007, 228: 155–166.

03.8.18. *Opracowanie wytycznych dla optymalizacji konstrukcji automatycznych filtrów spawalniczych, uwzględniających rzeczywiste warunki użytkowania.* Projekt CIOP-PIB, 2001.