

DOI: 10.5604/20830157.1148051

BADANIE NAGRZEWANIA SIĘ FILTRÓW CHRONIĄCYCH PRZED SZKODLIWYM PROMIENIOWANIEM PODCZERWONYM

Grzegorz Gralewicz¹, Grzegorz Owczarek¹, Janusz Kubrak²¹Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych, Pracownia Ochrony Oczu i Twarzy, ²Vigo SL Sp. z o.o.

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodykę oraz wyniki badań zmian temperatury powierzchni filtrów ochronnych zachodzących w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone. Przeanalizowano zmiany temperatury powierzchni następujących rodzajów filtrów: absorpcyjnych, metaliczno-odbiciowych, oraz opracowanych przez autorów filtrów interferencyjnych. Analiza przedstawionych wyników badań wykazała, że jest możliwe ograniczenie wzrostu temperatury powierzchni filtrów chroniących przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym metodami optyki cienkowarstwowej.

Słowa kluczowe: optyka cienkowarstwowa, filtr interferencyjny, promieniowanie podczerwone, pomiary temperatury, ochrona przed promieniowaniem podczerwonym, środki ochrony oczu i twarzy

EXAMINATION OF HEATING PROCESS OF FILTERS PROTECTING AGAINST HAZARDOUS INFRARED RADIATION

Abstract. This paper presents the methodology and results of changes of temperature on the surface of protective filters in place by exposure to infrared radiation. The changes of temperature on the surface of absorption filters, reflective metallic filters and metal – dielectric interference filters developed by the authors have been analyzed. As it follows from the analysis of the presented results, it is possible to reduce the temperature increase on the surface of filters protecting against hazardous IR radiation by thin film optics methods.

Keywords: interference film, infrared radiation, thin film optics methods, infrared protection, eye and face protection, temperature measurement

Wstęp

Na stanowiska pracy w hutach metali i szkła, odlewniach, w walcowniach przy piecach hartowniczych oraz obrotowych w cementowniach, przy wysokotemperaturowych piecach laboratoryjnych, podczas gaszenia pożarów poza częstymi zagrożeniami mechanicznymi (wywołanymi np. odpryskami stopionego metalu i żużlu), iskrami oraz bezpośrednim kontaktem z płomieniem występują zagrożenia emisją szkodliwego promieniowania podczerwonego. Zagrożenia te mogą powodować wysuszenie śluzówek, oparzenia gałki ocznej, a także powstawanie zaćmy [5].

Ochronę przed zagrożeniami termicznymi zapewniają filtry montowane w okularach, goglach lub osłonach twarzy. Filtry te powinny chronić oczy użytkownika przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym, jednocześnie zapewniając dobre widzenie przedmiotu pracy. Jeśli poziom szkodliwego promieniowania podczerwonego jest bardzo wysoki, zalecane jest stosowanie filtrów odbijających to promieniowanie, gdyż zmniejsza to wzrost temperatury samego filtru [6, 7].

Obecnie w środkach ochrony oczu i twarzy, stosowane są szklane lub wykonane na podłożach z materiałów organicznych (głównie poliwęglan) filtry metaliczno-odbiciowe, pokryte pojedynczą warstwą metaliczną odbijającą promieniowanie podczerwone oraz filtry absorpcyjne.

Filtry absorpcyjne wytwarzane są w procesie barwienia w masie, przez wprowadzenie czynnika modyfikującego przechodzące promieniowanie optyczne z zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni. Ochronny filtr optyczny, który powstał w wyniku procesu barwienia w masie materiału działa w oparciu o proces absorpcji dużej części promieniowania optycznego, a tylko znikoma część promieniowania padającego na filtr ulega odbiciu. Absorpcja powoduje wzrost temperatury filtru. Jest to zjawisko niepożądane i przyczyniające się do pogorszenia komfortu użytkownika filtrów.

Filtry metaliczno-odbiciowe wykonywane są na podłożach mineralnych lub organicznych z naniesioną warstwą metaliczną miedzi (Cu) lub złota (Au). Filtry te wykorzystują charakterystyczne właściwości metali stosowanych do ich produkcji, czyli wysoki współczynnik odbicia promieniowania w zakresie podczerwieni i znaczący współczynnik przepuszczania w zakresie widzialnym.

Innowacją w projektowaniu filtrów ochronnych, zabezpieczających przed promieniowaniem podczerwonym, są interferencyjne, cienkowarstwowe pokrycia blokujące

promieniowanie podczerwone [1, 2, 10]. Autorzy opracowali konstrukcję filtru interferencyjnego o wysokiej efektywności tłumienia promieniowania podczerwonego przy jednoczesnym wysokim poziomie przepuszczania w zakresie widzialnym [3]. Wśród głównych zalet tej konstrukcji należy wymienić: wysokie współczynniki odbicia dla zakresu bliskiej podczerwieni, a zatem bardzo wysoki poziom tłumienia szkodliwego promieniowania przy niskich poziomach absorpcji. Uzyskano obniżenie temperatury maksymalnej do jakiej nagrzewa się filtr w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone [4].

Wszystkie filtry służące do ochrony oczu przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym charakteryzuje się następującymi parametrami określającymi ich właściwości transmisyjne:

- współczynnik przepuszczania światła (τ_V),
- średnie współczynniki przepuszczania podczerwieni w zakresie 780-1400 nm (τ_A),
- średnie współczynniki przepuszczania podczerwieni w zakresie 780-2000 nm (τ_N),
- stopień ochrony.

Stopień ochrony wyznaczany jest na podstawie wartości współczynników przepuszczania światła (im wyższy stopień ochrony filtru tym współczynniki przepuszczania promieniowania widzialnego i współczynniki przepuszczania podczerwieni są niższe). Dla danego stopnia ochrony określone są średnie współczynniki przepuszczania podczerwieni w zakresach 780-1400 i 780-2000 nm.

W pracy przedstawiono wyniki badań wzrostu temperatury powierzchni filtrów w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone. Porównano konstrukcje obecnie stosowane z nową konstrukcją filtrów interferencyjnych.

1. Próbkki do badań

W celu dokonania analizy porównawczej obecnych na rynku filtrów z opracowanymi przez autorów filtrami interferencyjnymi wybrano następujące próbki do badań w postaci szklanych płytek płasko równoległych o średnicy 50 mm i grubości 2 mm odpowiednio:

- barwionych w masie, w przypadku dostępnych na rynku filtrów absorpcyjnych (stopień ochrony 4-5),
- z warstwą metaliczną miedzi, w przypadku dostępnych na rynku filtrów metaliczno-odbiciowych (stopień ochrony 4-5),

- z powłoką interferencyjną składającą się z warstw materiałów: aluminium, dwutlenek tytanu, dwutlenek krzemu, w przypadku opracowanych przez autorów filtrów interferencyjnych (stopień ochrony 4-5).

Parametry określające właściwości transmisyjne filtrów wyznaczono metodą spektrofotometryczną z wykorzystaniem spektrofotometru typu Cary 5000. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

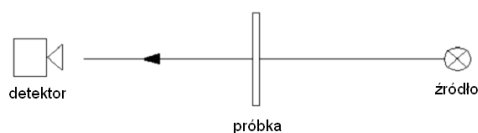
Tabela 1. Zestawienie współczynników przepuszczania światła oraz średnich współczynników przepuszczania podczerwieni dla dwóch zakresów 780-1400 oraz 780-2000 nm filtrów wykorzystanych w badaniach

Rodzaj filtru	Współczynnik przepuszczania światła τ_V [%]	Średnie współczynniki przepuszczania podczerwieni w zakresie 780-1400 nm τ_A [%]	Średnie współczynniki przepuszczania podczerwieni w zakresie 780-2000 nm τ_N [%]	Stopień ochrony
absorpcyjny	2,87	15,07	13,11	4-5
metaliczno odbiciowy	1,96	0,24	0,16	4-5
interferencyjny	1,66	0,07	0,04	4-5

Z wyników przedstawionych w tabeli 1 widać, że badane filtry są przeznaczone do stosowania w takich samych warunkach narażenia na promieniowanie podczerwone.

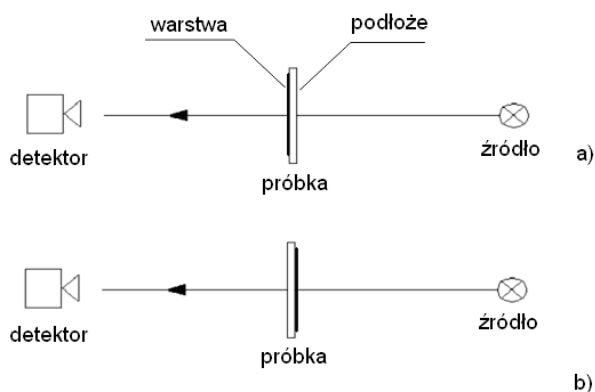
2. Metodyka badań

Pomiary zmian temperatury powierzchni filtrów chroniących przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym zostały wykonane z wykorzystaniem kamery termalnej Flir P620 o czułości termicznej $0,06^\circ\text{C}$. Źródłem promieniowania podczerwonego, które posłużyło do nagrzewania filtrów był promiennik podczerwieni Philips PAR38 o mocy 882 W/m^2 (moc zmierzona spektrometrem HD2402 w odległości 60 cm – odległość badanej próbki od źródła). Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do pomiarów zmian temperatury powierzchni filtrów w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone

Dla filtrów metaliczno-odbiciowych i interferencyjnych dokonano pomiarów zmian temperatury powierzchni warstwy metalicznej i powłoki interferencyjnej oraz z drugiej strony filtru - powierzchni podłoża, zgodnie ze schematem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do pomiarów zmian temperatury filtru interferencyjnego w wyniku ekspozycji na źródło promieniowania podczerwonego: a) pomiar temperatury powierzchni warstwy metalicznej lub powłoki interferencyjnej, b) pomiar temperatury powierzchni podłoża

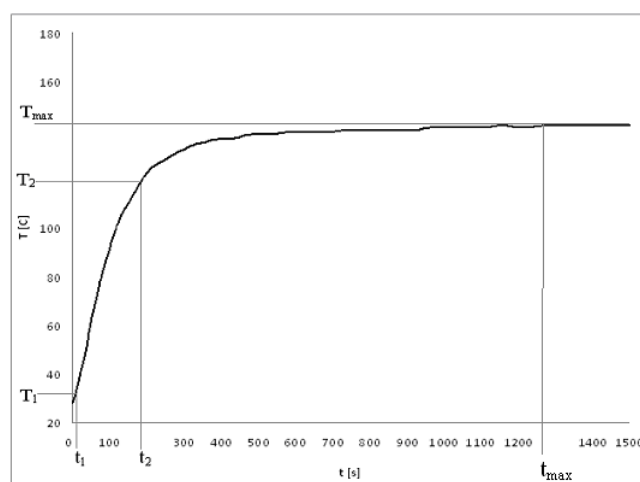
Rejestracja temperatury powierzchni filtrów wystawionych na ekspozycję promieniowania podczerwonego była wykonywana do czasu, w którym temperatura ta osiągnęła wartość maksymalną i nie podlegała dalszym zmianom.

Temperatura powierzchni filtru rosła najszybciej w pierwszej fazie nagrzewania. W celu porównania szybkości z jaką nagrzewają się powierzchnie badanych filtrów określono dynamikę zmian temperatury wyrażoną następującą zależnością:

$$\eta = \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie: $\Delta T = T_1 - T_2$ – jest to różnicą temperatury na powierzchni filtru w czasie $\Delta t = t_1 - t_2$.

Do obliczeń dynamiki zmian temperatury w pierwszej fazie nagrzewania wybrano tą część wykresu $T(t)$, dla którego zmiany temperatury w czasie mają charakter liniowy. Część liniową wykresu wyznaczano w programie Origin poprzez dopasowanie linii prostej do otrzymanych danych pomiarowych. Na jej przecięciu wyznaczano punkty t_1 i t_2 odpowiadające temperaturą T_1 i T_2 . Na rys. 3 przedstawiono przykładowy przebieg zmian temperatury powierzchni filtru z zaznaczonymi: ΔT , Δt oraz T_{max} , t_{max} .



Rys. 3. Przykładowa zależność temperatury powierzchni filtru od czasu z zaznaczonymi: ΔT , Δt oraz T_{max} , t_{max}

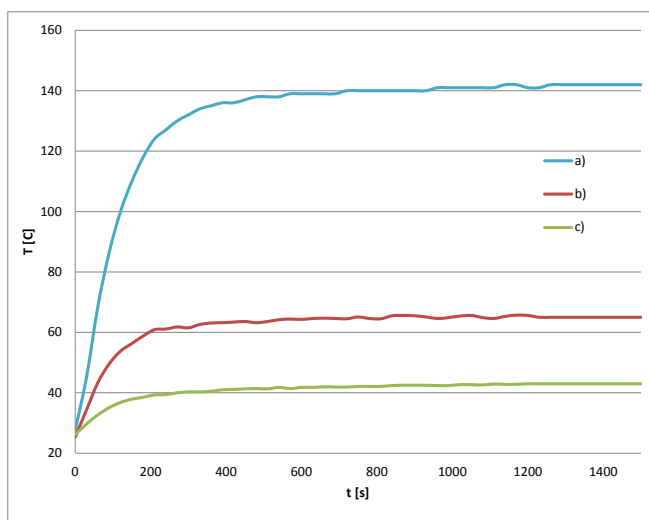
3. Wyniki badań filtrów

Badania filtrów przeprowadzone zgodnie z metodyką opisaną w poprzednim rozdziale pozwoliły na wyznaczenie następujących wartości:

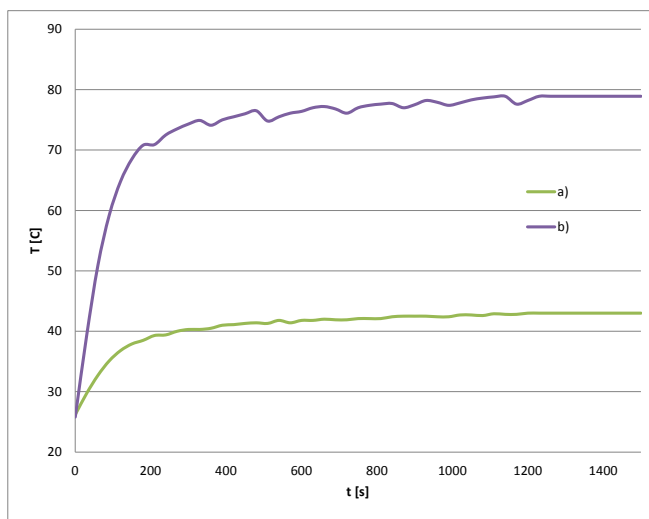
- dynamiki zmian temperatury na powierzchni filtru (η),
- temperatury maksymalnej (T_{max}),
- czasu, w którym temperatura na powierzchni filtru osiąga wartość maksymalną (t_{max}).

Na rysunkach od 4 do 6 przedstawiono zmiany temperatury na powierzchni badanych filtrów w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone. Na rys. 5 przedstawiono zmiany temperatury na powierzchni filtrów:

- absorpcyjnego,
- metaliczno-odbiciowego od strony podłoża,
- interferencyjnego od strony powłoki interferencyjnej.



Rys. 4. Zależność temperatury od czasu dla powierzchni filtrów: a) absorpcyjnego, b) metaliczno-odbiciowego od strony podłoża, c) interferencyjnego od strony powłoki interferencyjnej



Rys. 5. Zależność temperatury od czasu dla powierzchni: a) powłoki interferencyjnej, b) podłoża

Filtr absorpcyjny nagrzewał się do ponad 140°C (a), filtr metaliczno-odbiciowy do 65°C (b) natomiast filtr interferencyjny do 43°C (c). Wartości te uzyskiwane były po czasach: a) 1260 s (filtr absorpcyjny), b) 1230 s (filtr metaliczno-odbiciowy), c) 1200 s (filtr interferencyjny). Wartości dynamiki, temperatury maksymalnej oraz czasu ustabilizowania się temperatury dla przypadku przedstawionego na rysunku 4 zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości dynamiki, temperatury oraz czasu dla przypadku przedstawionego na rysunku 4

Filtr	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	t1 [s]	t2 [s]	Δt [s]	η [°C/s]	T _{max} [°C]	t _{max} [s]
absorpcyjny 4-5	27,6	118	90,4	30	210	180	0,50	140	1260
metaliczno-odbiciowy 4-5	34,4	49,6	15,2	30	90	60	0,25	65	1230
interferencyjny 4-5	26,2	36,8	10,6	30	120	90	0,12	43	1200

Dynamika zmian temperatury jest w tym przypadku znacząco różna. Jest największa dla filtrów absorpcyjnych $\eta = 0,5^\circ\text{C/s}$, a najmniejsza dla filtrów interferencyjnych $\eta = 0,12^\circ\text{C/s}$. Dla filtrów metaliczno-odbiciowych $\eta = 0,25^\circ\text{C/s}$. Maksymalna temperatura jest najwyższa także dla filtrów absorpcyjnych

$T_{max} = 140^\circ\text{C}$, filtry metaliczno-odbiciowe $T_{max} = 65^\circ\text{C}$, filtry interferencyjne najniższą wartość $T_{max} = 43^\circ\text{C}$. Czas, po którym temperatura na powierzchni filtru osiąga wartość maksymalną (t_{max}) jest zbliżony dla wszystkich badanych filtrów i wynosi ok. 1300 s.

Podczas badań zmian temperatury zauważono, że filtry interferencyjne wykazują znaczącą niesymetrię w nagrzewaniu się obu stron filtru przy ekspozycji na źródło promieniowania optycznego. Wykonano więc dalsze badania zmian temperatury powierzchni powłoki interferencyjnej oraz z drugiej strony filtru - powierzchni podłoża, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 2.

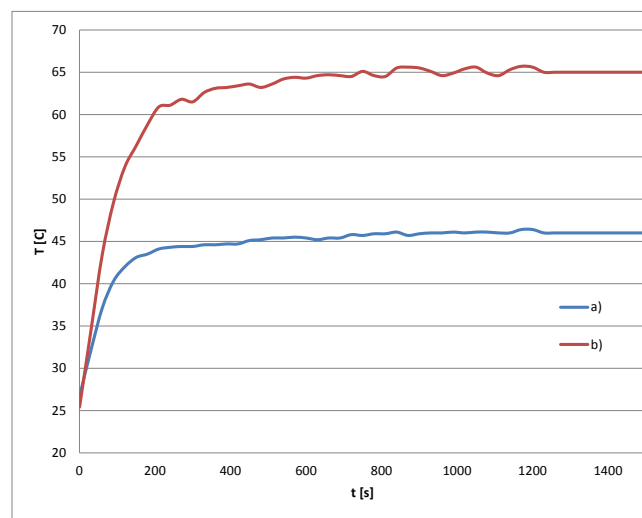
Na rys. 5 przedstawiono zmiany temperatury powierzchni: a) powłoki interferencyjnej, b) podłoża w wyniku ekspozycji na źródło promieniowania podczerwonego filtru interferencyjnego.

Dynamika zmian temperatury η oraz temperatura maksymalna T_{max} powłoki interferencyjnej jest znacząco niższa (tab. 3). Powierzchnia powłoki interferencyjnej nagrzewa się do 43°C , natomiast powierzchnia podłoża do 79°C .

Tabela 3. Obliczone wartości z wykresów T(t) dla filtru interferencyjnego

Powierzchnia	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	t ₁ [s]	t ₂ [s]	Δt [s]	η [°C/s]	T _{max} [°C]	t _{max} [s]
powłoka interferencyjna	26,2	36,8	10,6	30	120	90	0,12	43	1200
podłoże	25,8	64,8	39	30	120	90	0,43	79	1290

Na rys. 6 przedstawiono zmian temperatury powierzchni: a) warstwy metaliczno-odbiciowej, b) podłoża w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone filtru metaliczno-odbiciowego.



Rys. 6. Zależność temperatury od czasu dla powierzchni: a) warstwy metaliczno-odbiciowej, b) podłoża

W przypadku filtru metaliczno-odbiciowego dynamika zmian temperatury η ma wartość zbliżoną dla obydwu powierzchni, natomiast wartość temperatury maksymalnej T_{max} od strony warstwy metaliczno-odbiciowej jest niższa niż od strony podłoża (tab. 4). Powierzchnia warstwy metaliczno-odbiciowej nagrzewa się do 46°C , natomiast powierzchnia podłoża do 65°C .

Tabela 4. Obliczone wartości z wykresów T(t) dla filtru metaliczno-odbiciowego

Powierzchnia	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	t ₁ [s]	t ₂ [s]	Δt [s]	η [°C/s]	T _{max} [°C]	t _{max} [s]
warstwa metaliczno-odbiciowa	26,7	40,3	13,6	30	90	60	0,23	46	1290
podłoże	34,4	49,6	15,2	30	90	60	0,25	65	1230

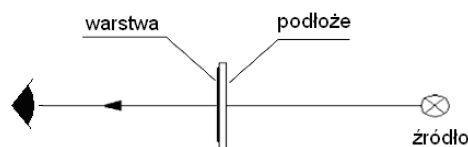
4. Dyskusja wyników

Przeprowadzone badania wzrostu temperatury powierzchni filtrów chroniących przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym w wyniku ekspozycji na promieniowanie podczerwone wykazały, że filtry opracowane przez autorów nagrzewają się w znacznie mniejszym stopniu od aktualnie stosowanych filtrów służących do ochrony przed promieniowaniem podczerwonym. Dynamika zmian temperatury (η) osiąga najniższą wartość dla filtrów interferencyjnych: η jest ok. 75% mniejsze dla filtrów interferencyjnych w odniesieniu do absorpcyjnych i o ok. 50% mniejsze porównując z filtrami metaliczno-odbiciowymi. Wartości temperatury w stanie ustalony T_{max} są również najniższe dla filtrów interferencyjnych (T_{max} jest ok. 46% mniejsze dla filtrów interferencyjnych w odniesieniu do absorpcyjnych i o ok. 31% mniejsze porównując z filtrami metaliczno-odbiciowymi).

Wyniki badań przeprowadzone dla trzech typów konstrukcji filtrów wskazują, że w przypadku filtrów absorpcyjnych nie obserwuje się różnic w nagrzewaniu się obydwu powierzchni filtru, natomiast w przypadku filtrów metaliczno-odbiciowych i interferencyjnych różnice te występują. Konstrukcje te składają się z podłoża mineralnego z naniesioną powłoką (interferencyjną) lub warstwą (metaliczną) blokującą promieniowanie podczerwone. Podłoża absorbują dużą część promieniowania podczerwonego w wyniku czego nagrzewają się, co może stanowić dodatkowe zagrożenie dla użytkownika.

Przeprowadzone badania wskazały na niesymetrię w nagrzewaniu się obu stron filtrów interferencyjnych, co wpływa na kierunek mocowania filtrów w oprawkach okularów lub gogli.

Proponowany sposób montażu filtru interferencyjnego w środkach ochrony oczu przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym przedstawiono na rys. 7. Filtry interferencyjne powinny być montowane w oprawie powłoką interferencyjną w kierunku oka.



Rys. 7. Proponowany sposób montażu filtru interferencyjnego w środkach ochrony oczu przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym powłoką interferencyjną w kierunku oka

Dodatkowo, na podstawie analizy przedstawionych wyników badań więc można wnioskować, że jest możliwe ograniczenie wzrostu temperatury powierzchni filtrów chroniących przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym stosując metody optyki cienkowarstwowej.

Podziękowania

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Literatura

- [1] Angus Macleod H., MacLeod A.: Thin Film Optical Filters, 3rd Edition, January 1st 2001 by Taylor & Francis, 2001.
- [2] Berning P.H., Turner A.F.: Induced Transmission in Absorbing Films Applied to Band Pass Filter Design, JOSA 47, 1957, 230–239.
- [3] Gralewicz G., Owczarek G., Kubrak J.: Interferencyjne filtry zabezpieczające przed szkodliwym promieniowaniem podczerwonym na gorących stanowiskach pracy, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka 5/2012, 12-15.
- [4] Gralewicz G., Owczarek G., Kubrak J.: Interferencyjne filtry blokujące szkodliwe promieniowanie podczerwone na gorących stanowiskach pracy, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 256/2012, 23-35.
- [5] Handbook of Occupational Safety and Health – red. nauk. prof. dr hab. med. Danuty Koradeckiej. Taylor and Francis Group, LLC, 2010.
- [6] Marzec S.: Propozycje oceny narażenia pracowników na cyklicznie powtarzające się promieniowanie podczerwone, Przegląd Elektrotechniczny, rok LXXXV, 11, 2009, 226-228.
- [7] Marzec S.: Zagrożenie promieniowaniem podczerwonym na wybranych stanowiskach pracy w hutnictwie żelaza i stali, Praca Zdrowie Bezpieczeństwo, 2/2001, 4-7.
- [8] PN-EN 166: 2005 Ochrona indywidualna oczu – Wymagania, 2005.
- [9] PN-EN 171: 2005 Ochrona indywidualna oczu - Filtry chroniące przed podczerwienią - Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczalności i zalecane stosowanie, 2005.
- [10] Sytchkowa S.: Reliable Deposition of ITF with a Single Metal Layer. Applied Optics, Vol 50, 2011.

Dr inż. Grzegorz Gralewicz

e-mail: grgra@ciop.lodz.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej, od 2003r. pracuje w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym. W 2009 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska.



Dr inż. Grzegorz Owczarek

e-mail: growc@ciop.lodz.pl

Absolwent Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Obecnie pracownik CIOP-PIB – Kierownik Pracowni Ochrony Oczu i Twarzy.



Dr Janusz Kubrak

e-mail: jkubrak@vigo.com.pl

Absolwent Wydziału Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Prezes Zarządu firmy Vigo SL Sp. z o.o. – członka Polskiej Izby Gospodarczej Zaawansowanych Technologii.

otrzymano/received: 22.10.2014

przyjęto do druku/accepted: 07.11.2014

