

Grzegorz Owczarek¹
Grzegorz Gralewicz¹
Agnieszka Wolska¹
Natalia Skuza²
Piotr Jurowski²

POTENCJALNY WPŁYW BARWY FILTRÓW W OKULARACH CHRONIĄCYCH PRZED OLŚNIENIEM SŁONECZNYM NA WYDZIELANIE MELATONINY

POTENTIAL IMPACT OF COLORS OF FILTERS USED IN SUNGLASSES
ON THE MELATONIN SUPPRESSION PROCESS

¹ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warszawa, Poland
Zakład Ochron Osobistych / Department of Protective Equipment

² Uniwersytet Medyczny w Łodzi / Medical University of Lodz, Łódź, Poland
Klinika Okulistyki i Rehabilitacji Wzroku / Department of Ophthalmology and Visual Rehabilitation

STRESZCZENIE

Wstęp: W pracy opisano metody wyznaczania współczynników przepuszczania promieniowania optycznego w zakresie widzialnym przez wybrane materiały stosowane jako filtry w okularach chroniących przed olśnieniem słonecznym. **Materiał i metody:** Dla 4 barw filtrów porównano współczynniki przepuszczania, które zostały zdefiniowane w odniesieniu do ilości światła przechodzącego przez filtr przy uwzględnieniu mechanizmu adaptacyjnego do widzenia dziennego i procesu hamowania wydzielania melatoniny. **Wyniki:** Wartości współczynników przepuszczania wyznaczono dla fal o długości 380–780 nm (zakres promieniowania widzialnego) i 425–560 nm (zakres promieniowania niebieskiego wpływający na proces hamowania wydzielania melatoniny). **Wnioski:** Zastosowanie okularów przeciwsłonecznych z filtrami o różnych barwach modyfikuje widmową charakterystykę przepuszczania (widmo) promieniowania widzialnego docierającego do oka (w tym promieniowania niebieskiego), w taki sposób, że może potencjalnie wpływać na przebieg procesu hamowania wydzielania melatoniny. Med. Pr. 2017;68(5):629–637

Słowa kluczowe: melatonina, promieniowanie słoneczne, ochrona zdrowia pracujących, współczynniki przepuszczania promieniowania optycznego, filtry ochronne, okulary przeciwsłoneczne

ABSTRACT

Background: In this article the methods for determining spectral transmittance of optical radiation in the visible waveband range through selected materials used as optical filters against solar glare were described. **Material and Methods:** Transmittance coefficients specified for the fraction of light passing through tested filters, taking into account the mechanism of eye adaptation to daylight and night vision and the melatonin suppression process were compared for 4 dyed sunglass filters. **Results:** The values of transmittance coefficients specified for wavelength bands, 380–780 nm (for visible range) and 425–560 nm (for blue light range affecting the melatonin suppression process) were determined. **Conclusions:** The use of sunglasses with different color filters modifies the spectral characteristics of transmittance (spectrum) of visible light reaching the eye (including blue radiation) in such a way that it may have a potential impact on the melatonin suppression process. Med Pr 2017;68(5):629–637

Key words: melatonin, solar radiation, health care workers, transmission coefficients of optical radiation, protective filters, sunglasses

Autor do korespondencji / Corresponding author: Grzegorz Owczarek, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych, ul. Wierzbowa 48, 91-133 Łódź, e-mail: growc@ciop.lodz.pl
Nadesłano: 28 sierpnia 2016, zatwierdzono: 31 stycznia 2017

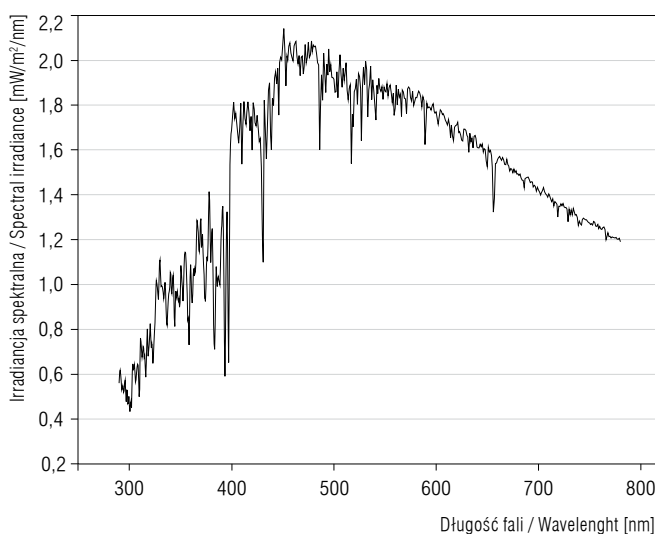
WSTĘP

Okulary chroniące przed oślnieniem słonecznym, nazywane popularnie okularami przeciwsłonecznymi, są powszechnie stosowane w warunkach, w których występuje narażenie na oślnienie słoneczne. Dotyczy to zarówno bezpośredniego patrzenia na niebo w warunkach intensywnego nasłonecznienia, jak i narażenia związanego z promieniowaniem słonecznym odbitym od wody, śniegu lub innych powierzchni stanowiących element środowiska naturalnego lub infrastruktury budowlanej. Widmo promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery rozciąga się między nadfioletem (ok. 290 nm) a podczerwienią (ok. 4000 nm) [1].

Transparentność struktur optycznych narządu wzroku powoduje, że wspomniane zakresy promieniowania elektromagnetycznego mogą szkodliwie oddziaływać na wewnątrzsiatkówkową drogę wzrokową, w tym przede wszystkim na fotoreceptory i nabłonek barwnikowy siatkówki. Z innej strony wiadomo, że światło i jego brak w nocy są głównymi czynnikami stymulującymi rytmy dobowe człowieka, w tym wydzielania melatoniny. Uważa się, że zagrożeniem dla oka jest zarówno promieniowanie nadfioletowe i podczerwone, jak i intensywne promieniowanie widzialne.

Przykład rzeczywistego rozkładu widmowego promieniowania słonecznego dla zakresu promieniowania nadfioletowego i widzialnego (290–780 nm) przedstawiono na rycinie 1.

Przyjmuje się, że głównymi zadaniami okularów przeciwsłonecznych są ochrona oka ludzkiego przed



Ryc. 1. Przykładowe widmo promieniowania słonecznego
Fig. 1. Example of the solar radiation spectrum

zbyt silnym promieniowaniem słonecznym, zmniejszenie zmęczenia oka i poprawa odbioru bodźców wzrokowych. Okulary te są dobierane w zależności od jasności otoczenia i indywidualnej wrażliwości na oślnienie. Filtry stosowane w większości typów szkieł okularów przeciwsłonecznych są wykonane z tworzyw sztucznych, które niezależnie od barwy i intensywności zaciemnienia pochłaniają znaczną część promieniowania. Dodatkowo te cechy filtrów decydują o tym, w jaki sposób są odbierane bodźce wzrokowe. Szczegółowa klasyfikacja dla okularów przeciwsłonecznych jest opisana w normie PN-EN ISO 12312-1:2014 [2]. Metody badań dla tego typu okularów opisano w normie PN-EN ISO 12311:2014-02 [3].

Nowym i wyjątkowo interesującym zagadnieniem związanym ze stosowaniem filtrów przeciwsłonecznych, którego do tej pory nie poddano żadnej klasyfikacji, jest określenie potencjalnego wpływu barwy filtrów na przebieg procesu hamowania wydzielania melatoniny. Odkrycie w 2001 r. nowego typu receptora w ludzkim oku – ipRGC (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells – samoistnie światłoczułe komórki zwojowe siatkówki) [4–6] – zapoczątkowało wzrost zainteresowania tematem i wiele badań dotyczących oddziaływania światła na hamowanie wydzielania melatoniny i rytm okołodobowy [7–12].

Wydzielana przez szyszynkę do krwiobiegu melatonina informuje organizm o przeżywaniu procesów przypadających na porę nocną, jak sen czy obniżenie temperatury ciała i spowolnienie rytmu serca. Dowiedziono, że rytmy w organizmie człowieka, takie jak cykl snu i czuwania, dzienne zmiany koncentracji, wydajności i nastroju oraz reakcje na zmiany sezonowe, są uzależnione od określonych warunków świetlnych. Jednym ze sposobów hamowania wydzielania melatoniny jest ekspozycja na światło o odpowiedniej barwie i intensywności z zakresu 425–560 nm, a zwłaszcza na światło niebieskie o długości fali ok. 465 nm. Ten zakres promieniowania elektromagnetycznego charakteryzuje się maksymalną skutecznością hamowania wydzielania melatoniny [5,7,10].

Celem niniejszej pracy było określenie potencjalnego wpływu barwy filtrów stosowanych w okularach przeciwsłonecznych na wydzielanie melatoniny. Biorąc pod uwagę, że dla filtrów o różnych barwach będą występowały różnice w wartościach przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, można przypuszczać, że będzie miało to wpływ na skuteczność hamowania wydzielania melatoniny.

MATERIAŁ I METODY

Badania filtrów stosowanych w okularach przeciwsłonecznych oparto na wyznaczeniu charakterystyki widmowej przepuszczania promieniowania optycznego dla zakresu długości fal 380–780 nm metodą spektrofotometryczną. Badania przeprowadzono z zastosowaniem spektrofotometru Cary 5000 (prod. Varian, Australia).

Wartość współczynnika przepuszczania promieniowania optycznego przechodzącego przez dowolny element optyczny (transmitancja) zależy od sposobu, w jaki została ona zdefiniowana. Sposobem określenia przepuszczania jest wyznaczenie stosunku mocy strumienia padającego na badany 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 przechodzącego do mocy strumienia padającego dla dowolnie wybranej długości fali określa się jako widmowy współczynnik przepuszczania, który definiowany jest następującym wzorem:

$$\tau(\lambda) = \frac{\varphi(\lambda)}{\varphi_0(\lambda)} \quad (1)$$

gdzie:

$\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczania promieniowania optycznego,
 $\varphi(\lambda)$ – moc strumienia przechodzącego przez element optyczny dla długości fali λ ,
 $\varphi_0(\lambda)$ – moc strumienia padającego na 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. Początkowym etapem w zdefiniowaniu wzoru, niezbędnym do jego wyznaczenia, jest określenie zakresu długości fal. W przypadku promieniowania widzialnego (światła) zakres ten wynosi 380–780 nm. Kolejny etap polega na wyborze funkcji wagowych [3]. W przypadku, gdy nie uwzględnia się takich funkcji, przepuszczanie określa się jako średni widmowy współczynnik przepuszczania, który wyznaczany jest ze wzoru:

$$\tau_{vs} = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) d\lambda}{N} \quad (2)$$

gdzie:

τ_{vs} – średni widmowy współczynnik przepuszczania,
 $\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczania światła,
 λ – długość fali,
 N – liczba naturalna odpowiadająca wartości przedziału kroku pomiarowego przy pomiarach charakterystyki widmowej przepuszczania (np. dla kroku pomiarowego 1 nm, dla fal o długości 380–780 nm, $N = (780 - 380) + 1 = 401$).

Istotnym etapem zdefiniowania wzoru do obliczenia współczynnika przepuszczania promieniowania optycznego jest uwzględnienie funkcji rozkładu widmowego dowolnego iluminantu (np. iluminantu A dla oświetlenia sztucznego lub D65 dla oświetlenia naturalnego), jak również rozkładu względnej skuteczności świetlnej widmowej dla widzenia fotopowego (dziennego) – $V(\lambda)$. Wyznaczona w ten sposób wartość współczynnika przepuszczania światła odzwierciedla tłumienie promieniowania widzialnego padającego na powierzchnię filtra w odniesieniu do skuteczności wywoływania wrażeń wzrokowych. Współczynnik ten określony jest wzorem:

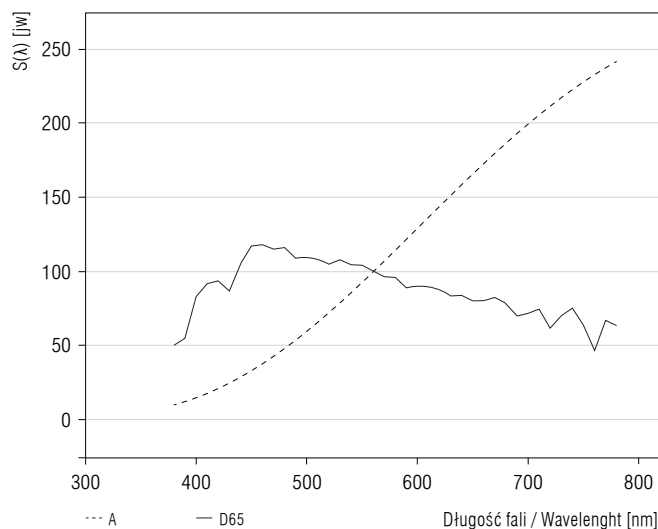
$$\tau_v = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) \times V(\lambda) \times S(\lambda) d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) \times S(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

gdzie:

τ_v – współczynnik przepuszczania światła,
 $\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczania światła,
 $V(\lambda)$ – rozkład względnej skuteczności widmowej dla widzenia dziennego,
 $S(\lambda)$ – rozkład iluminantu (np. D65 (dla oświetlenia naturalnego) lub A (dla oświetlenia sztucznego)),
 λ – długość fali.

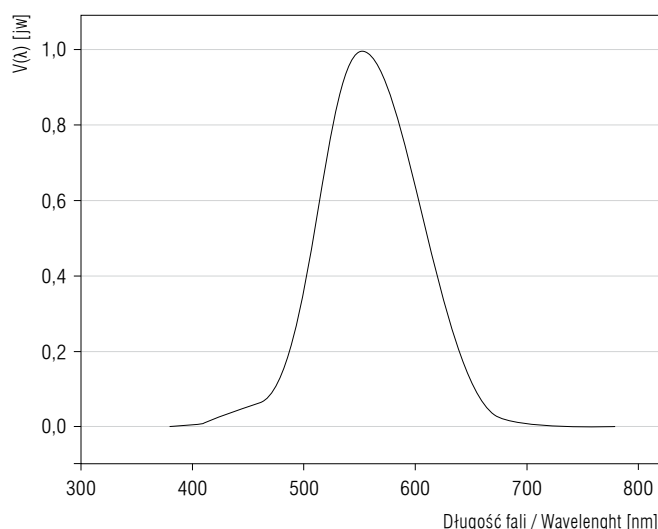
Należy przyjąć, że wyliczone wartości współczynników przepuszczania światła (wzór 3) będą różne w zależności od przyjętego rozkładu iluminantu ($S(\lambda)$) i rozkładu względnej skuteczności widzenia dziennego ($V(\lambda)$) (ryc. 2 i 3).

Wzór, na którego podstawie obliczana jest wartość współczynnika przepuszczania światła (wzór 3), uwzględnia określony efekt biologiczny odnoszący się do skuteczności widzenia. W dalszej części pracy do obliczenia wartości współczynnika przepuszczania światła wzięto pod uwagę rozkład względnej skuteczności świetlnej widmowej dla widzenia fotopowego (dziennego) i rozkład widmowy iluminantu D65. Rozkłady te są brane pod uwagę również przy wyliczeniach współczynnika przepuszczania dla okularów przeciwsłonecznych [13].



Ryc. 2. Rozkład widmowy iluminantów ($S(\lambda)$) – dla oświetlenia sztucznego (A) i dla oświetlenia naturalnego (D65)

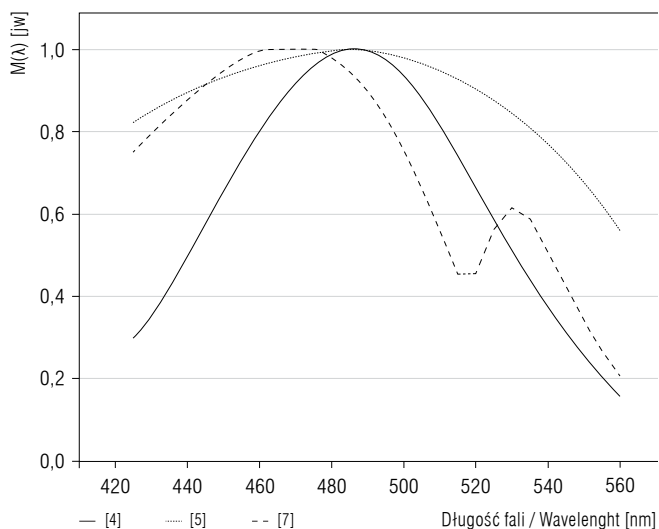
Fig. 2. Spectral energy distribution for illuminant ($S(\lambda)$) – artificial light (A) and natural light (D65)



Ryc. 3. Rozkład względnej skuteczności widmowej dla widzenia dziennego ($V(\lambda)$)

Fig. 3. Spectral visibility function on the average lumen for daylight distribution ($V(\lambda)$)

Ostatecznie przyjęto, że definicje współczynników przepuszczania promieniowania optycznego mogą uwzględniać również inne efekty biologiczne. W przypadku efektu polegającego na hamowaniu wydzielania melatoniny uwzględnia się zakres długości fal 425–560 nm. Funkcja rozkładu widmowego, która będzie wykorzystana do zdefiniowania współczynnika przepuszczania promieniowania optycznego uwzględniającego ten efekt, musi odpowiadać procesowi hamowania wydzielania melatoniny. W związku z tym przyjęto 3 różne rozkłady widmowe skuteczności hamowania



Na podstawie / Based on: Brainard i wsp. / et al.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptors [4], Thapan i wsp. / et al.: An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans [5], Aube i wsp. / et al.: Evaluating potential spectra impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility [7].

Ryc. 4. Rozkład względnej widmowej skuteczności hamowania wydzielania melatoniny ($M(\lambda)$)

Fig. 4. Spectral distribution of the relative spectral inhibited melatonin secretion ($M(\lambda)$)

wydzielania melatoniny – według Brainarda i wsp. [4], Thapana i wsp. [5] oraz Aubego i wsp. [7] (ryc. 4).

Współczynnik przepuszczania promieniowania optycznego dla zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny, określany jest przez następujący wzór:

$$\tau_M = \frac{\int_{425 \text{ nm}}^{560 \text{ nm}} \tau(\lambda) \times M(\lambda) d\lambda}{\int_{425 \text{ nm}}^{560 \text{ nm}} M(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

gdzie:

τ_M – współczynnik przepuszczania uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny,

$\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczania promieniowania optycznego,

$M(\lambda)$ – względny rozkład widmowy skuteczności wydzielania melatoniny (według Brainarda i wsp. [4], Thapana i wsp. [5] lub Aubego i wsp. [7]),

λ – długość fali.

Współczynnik przepuszczania zdefiniowany wzorem 4. określa, jak jest tłumione promieniowanie widzialne z zakresu 425–560 nm, padające na powierzchnię filtra w odniesieniu do skuteczności hamowania wydzielania melatoniny.

WYNIKI

Przyjęto założenie, że wpływ barwy filtrów na hamowanie wydzielania melatoniny może być uwarunkowany tym, że:

- dla filtrów o różnych barwach będą występowały różnice w przepuszczaniu promieniowania niebieskiego dla zakresu długości fal 425–560 nm, z uwzględnieniem rozkładu widmowego skuteczności hamowania wydzielania melatoniny (τ_{M_i}),
- występują odmienności w proporcjach wyrażających się stosunkiem różnicy całkowitej ilości promieniowania widzialnego (τ_v) przechodzącego przez filtr i skutecznej ilości promieniowania z zakresu 425–560 nm (τ_{M_i}) do całkowitej ilości promieniowania widzialnego (τ_v) przechodzącego przez filtr.

Dla 4 próbek (filtry stosowane w okularach przeciwsłonecznych o barwach żółtej, niebieskiej, brązowej i szarej), których wyniki podano w następnej części, współczynniki te są przedstawione następującymi symbolami:

- τ_{vi} – współczynnik przepuszczania światła, uwzględniający rozkład względnej skuteczności świetlnej widmowej dla widzenia fotonowego i rozkład iluminantu D65, dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$);
- $\tau_{vs(380-780\text{ nm})i}$ – średni widmowy współczynnik przepuszczania światła, dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$);
- $\tau_{vs(425-560\text{ nm})i}$ – średni widmowy współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$);
- τ_{MBi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Brainarda i wsp. [4], dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$);
- τ_{MAi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Aubego i wsp. [7], dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$);
- τ_{MTi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Thapana i wsp. [5], dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$).

W obliczeniach wykorzystano również wartość średnią przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm dla 3 wyżej wymienionych rozkładów. Średnia wartość współczynnika przepuszczania wyrażona jest wtedy następującym wzorem:

$$\tau_{Ms} = \frac{\tau_{MBi} + \tau_{MAi} + \tau_{MTi}}{3} \quad (5)$$

gdzie:

τ_{Ms} – średnia wartość współczynnika przepuszczania uwzględniającego rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny,

τ_{MBi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Brainarda i wsp. [4],

τ_{MAi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Aubego i wsp. [7], dla próbki i ($i = 1, 2, 3, 4$),

τ_{MTi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Thapana i wsp. [5].

Stosunek różnicy całkowitej ilości przechodzącego przez filtr promieniowania widzialnego (τ_{vi}) i skutecznej ilości promieniowania widzialnego z zakresu 425–560 nm (τ_{Ms}) do całkowitej ilości promieniowania widzialnego (τ_{vi}) przechodzącego przez i -ty filtr określono jako P_i , który wyraża się wzorem:

$$P_i = \frac{\tau_{vi} - \tau_{Ms}}{\tau_{vi}} \times 100\% \quad (6)$$

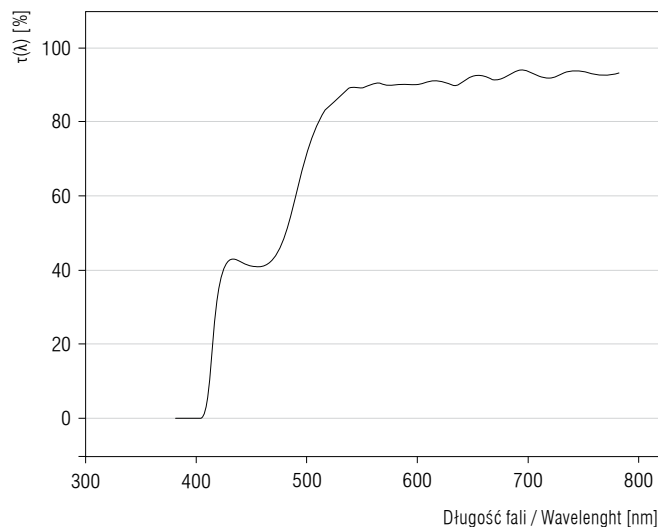
gdzie:

P_i – współczynnik określający stosunek różnicy całkowitej ilości przechodzącego przez filtr promieniowania widzialnego i skutecznej ilości promieniowania widzialnego z zakresu 425–560 nm do całkowitej ilości przechodzącego przez filtr promieniowania widzialnego,

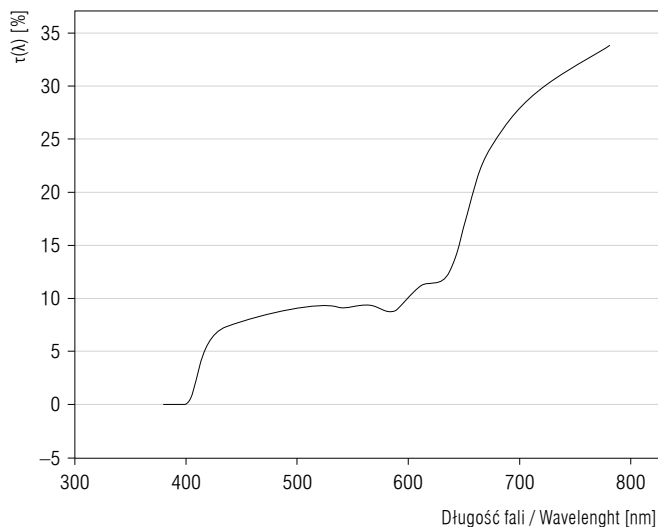
τ_{vi} – współczynnik przepuszczania określający całkowitą ilość promieniowania widzialnego przechodzącego przez dany filtr,

τ_{Ms} – średnia wartość współczynnika przepuszczania uwzględniającego rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny.

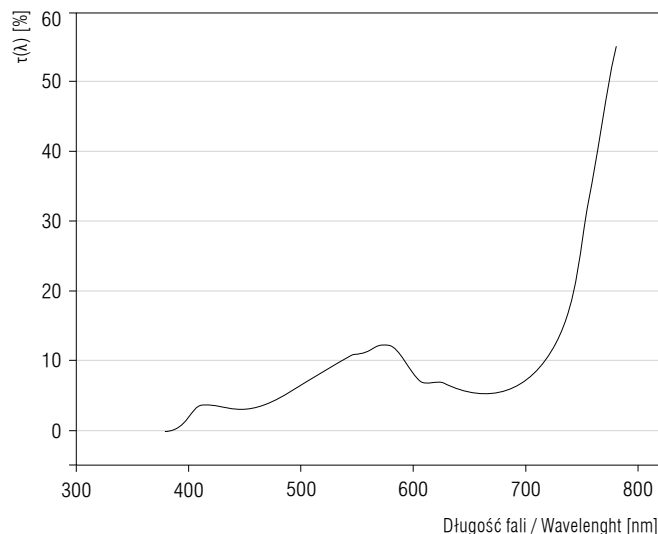
Zbadano 4 filtry o różnych barwach, które są stosowane w okularach przeciwsłonecznych. Były to filtry barwy żółtej, niebieskiej, brązowej i szarej, wykonane z materiałów organicznych z zastosowaniem metody barwienia w masie. Próbki poddano badaniu spektrofotometrycznemu. Wyznaczono charakterystykę widmową przepuszczania światła. Wyniki przedstawiono na rycinach 5–8.



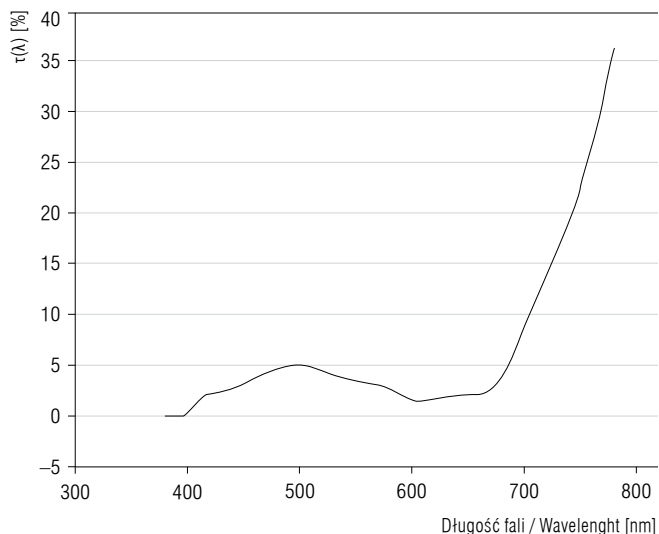
Ryc. 5. Charakterystyka widmowa przepuszczania światła ($\tau(\lambda)$) dla próbki nr 1 (filtr żółty stosowany w okularach przeciwsłonecznych) w badaniach spektrofotometrycznych **Fig. 5.** Spectral characteristics of light transmittance ($\tau(\lambda)$) in sample No. 1 (yellow filter used in sunglasses) in spectrophotometric measure



Ryc. 6. Charakterystyka widmowa przepuszczania światła ($\tau(\lambda)$) dla próbki nr 2 (filtr niebieski stosowany w okularach przeciwsłonecznych) w badaniach spektrofotometrycznych **Fig. 6.** Spectral characteristics of light transmittance ($\tau(\lambda)$) in sample No. 2 (blue filter used in sunglasses) in spectrophotometric measure



Ryc. 7. Charakterystyka widmowa przepuszczania światła ($\tau(\lambda)$) dla próbki nr 3 (filtr brązowy stosowany w okularach przeciwsłonecznych) w badaniach spektrofotometrycznych **Fig. 7.** Spectral characteristics of light transmittance ($\tau(\lambda)$) in sample No. 3 (brown filter used in sunglasses) in spectrophotometric measure



Ryc. 8. Charakterystyka widmowa przepuszczania światła ($\tau(\lambda)$) dla próbki nr 4 (filtr szary stosowany w okularach przeciwsłonecznych) w badaniach spektrofotometrycznych **Fig. 8.** Spectral characteristics of light transmittance ($\tau(\lambda)$) in sample No. 4 (gray filter used in sunglasses) in spectrophotometric measure

OMÓWIENIE

Na podstawie uzyskanych wykresów widmowych transmitancji można zauważyć, że w przypadku próbki żółtej promieniowanie widzialne tłumione jest poniżej 530 nm (barwa zielona), a powyżej 530 nm widmo promieniowania widzialnego jest przepuszczane prawie w całości (z niewielkim tłumieniem). Przy długoś-

ci fal z zakresu 420–470 nm (maksimum skuteczności hamowania wydzielania melatoniny) transmitancja jest na poziomie 40%. W przypadku filtrów brązowego i szarego widmowe charakterystyki przepuszczania mają podobny kształt, a przy długościach fal z zakresu 420–470 nm transmitancja tych filtrów jest na poziomie ok. 5%. Dla filtru niebieskiego jest to ok. 8%. Z tego powodu dla badanych filtrów największe prze-

puszczanie światła z zakresu promieniowania niebieskiego dotyczy filtru żółtego, który jest typowym blokerem promieniowania z tego zakresu.

W tabeli 1. przedstawiono wartości współczynników przepuszczania wyliczonych zgodnie z metodą przedstawioną w części „Materiał i metody”.

Wykazano, że saturacja zabarwienia dla badanych próbek jest bardzo różna, zwłaszcza w odniesieniu do filtru żółtego. Dowiedziono, że współczynniki przepuszczania światła (τ_{vi}) zawarte są w przedziale od 3,5% (filtr szary) do 85,74% (filtr żółty). Filtry żółte stosowane w okularach przeciwsłonecznych cechują się z reguły wysokim poziomem przepuszczania. Okulary przeciwsłoneczne z żółtymi filtrami są stosowane głównie w warunkach zewnętrznych (m.in. prowadzenie pojazdów w czasie zamglenia) w celu „wycięcia” części promieniowania niebieskiego dla osiągnięcia

efektu podniesienia kontrastu obiektów obserwowanych na niebieskim tle (filtry tego typu określane są jako ‘blueblockers’).

Z kolei w okularach przeciwsłonecznych powszechnie wykorzystywane są filtry o barwach brązowej i szarej. Rzadko natomiast używa się w nich filtrów niebieskich. Niebieska barwa filtrów jest korzystna np. w konstrukcji filtrów chroniących oczy przed promieniowaniem podczerwonym. Działają one wtedy na zasadzie podobnej jak filtry żółte w warunkach zewnętrznych, blokując nadmiar promieniowania czerwonego, podnosząc kontrast i komfort obserwacji rozgrzanych elementów.

Jak wiadomo, żeby zapobiegać hamowaniu wydzielania melatoniny filtry powinny blokować promieniowanie z zakresu 425–560 nm. Dla wszystkich badanych filtrów współczynniki przepuszczania promieniowania

Tabela 1. Współczynniki przepuszczania promieniowania optycznego dla filtrów o różnych barwach stosowanych w okularach chroniących przed oślnieniem słonecznym

Table 1. Transmittance of optical radiation of different colored filters used in sunglasses

Współczynnik przepuszczania Transmittance	Próbka Sample			
	nr 1 (żółta) No. 1 (yellow)	nr 2 (niebieska) No. 2 (blue)	nr 3 (brązowa) No. 3 (brown)	nr 4 (szara) No. 4 (gray)
τ_{vi} [%]	85,74	9,62	9,26	3,50
$\tau_{vs(380-780nm)i}$ [%]	73,43	14,75	9,86	6,51
$\tau_{vs(425-560nm)i}$ [%]	64,67	8,60	6,26	3,90
τ_{MBi} [%]	61,76	8,64	5,69	4,15
τ_{MAi} [%]	58,76	8,46	5,37	3,92
τ_{MTi} [%]	63,22	8,58	5,99	3,93
τ_{Ms} [%] (M±SD)	61,25±2,27	8,56±0,09	5,63±0,31	4,00±0,13
P_i [%]	28,56	11,02	39,02	-12,86

τ_{vi} – współczynnik przepuszczania światła, uwzględniający rozkład względnej skuteczności świetlnej widmowej dla widzenia fotopowego i rozkład illuminantu D65, dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / luminous transmittance coefficient which takes into account the distribution of the relative spectral luminous efficiency for photopic vision and the resolution illuminant D65, sample i (i = 1, 2, 3, 4).

$\tau_{vs(380-780nm)i}$ – średni widmowy współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 380–780 nm, dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / mean luminous transmittance coefficient within the range 380–780 nm, sample i (i = 1, 2, 3, 4).

$\tau_{vs(425-560nm)i}$ – średni widmowy współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / mean luminous transmittance coefficient within the range 425–560 nm, sample i (i = 1, 2, 3, 4).

τ_{MBi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Brainarda i wsp. [4], dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / visual transmission coefficient within the range 425–560 nm, taking into account the spectral distribution of the inhibited melatonin secretion by Brainard et al. [4], sample i (i = 1, 2, 3, 4).

τ_{MAi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Aubego i wsp. [7], dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / visual transmission coefficient within the range 425–560 nm, taking into account the spectral distribution of the inhibited melatonin secretion by Aube et al. [7], sample i (i = 1, 2, 3, 4).

τ_{MTi} – współczynnik przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, uwzględniający rozkład widmowy skuteczności hamowania wydzielania melatoniny według Thapana i wsp. [5], dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / visual transmission coefficient within the range 425–560 nm, taking into account the spectral distribution of the inhibited melatonin secretion by Thapan et al. [5], sample i (i = 1, 2, 3, 4).

τ_{Ms} – średnia przepuszczania promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, dla próbki i (i = 1, 2, 3, 4) / mean visual transmission coefficient within the range 425–560 nm, sample i (i = 1, 2, 3, 4).

P_i – stosunek różnicy całkowitej ilości przechodzącego przez filtr promieniowania widzialnego (τ_{vi}) i skutecznej ilości promieniowania widzialnego z zakresu 425–560 nm (τ_{Ms}) do całkowitej ilości promieniowania widzialnego (τ_{vi}) przechodzącego przez i-ty filtr (i = 1, 2, 3, 4) / quantity of ratio of the difference through the filter to visible light (τ_{vi}) and an effective amount of visible radiation in the range of 425–560 nm (τ_{Ms}) to the total amount of visible radiation (τ_{vi}) through the sample i (i = 1, 2, 3, 4).

M – średnia / mean, SD – odchylenie standardowe / standard deviation.

niebieskiego, uwzględniające brane pod uwagę rozkład widmowe skuteczności hamowania wydzielania melatoniny, są na poziomie średniego widmowego współczynnika przepuszczania promieniowania niebieskiego. Oznacza to w praktyce, że ilość promieniowania z zakresu 425–560 nm (skutecznego w hamowaniu wydzielania melatoniny), jaka dociera bezpośrednio do oka przez każdy z badanych filtrów, nie zależy znacząco od uwzględnianego w obliczeniach rozkładu względnej widmowej skuteczności hamowania wydzielania melatoniny (według Brainarda i wsp. [4], Thapana i wsp. [5] oraz Aubego i wsp. [7]).

Z uwagi na znaczące różnice w transmitancji badanych próbek przyjęto, że wpływ barwy filtrów na przebieg procesu hamowania wydzielania melatoniny może być uwarunkowany różnicą w proporcjach, wyrażających się stosunkiem różnicy całkowitej ilości przechodzącego przez filtr promieniowania widzialnego (τ_v) i ilości promieniowania z zakresu 425–560 nm, skutecznego w hamowaniu wydzielania melatoniny (τ_M), do całkowitej ilości promieniowania widzialnego (τ_v) przechodzącego przez filtr (współczynnik P wyrażony wzorem 6).

Im większe tłumienie filtru dla promieniowania widzialnego z zakresu długości fal 425–560 nm, tym mniejszy będzie współczynnik przepuszczania filtru dla tego zakresu. W praktyce oznacza to, że im wyższa wartość współczynnika P, tym więcej promieniowania z zakresu 425–560 nm jest blokowanego w odniesieniu do całego promieniowania widzialnego z zakresu 380–780 nm. Dowiedziono, że wartość współczynnika P jest najwyższa dla filtrów o barwie żółtej i brązowej, co wskazuje, że z grupy badanych filtrów ich wpływ na wydzielanie melatoniny jest potencjalnie największy.

WNIOSKI

Potencjalnie największy wpływ barwy żółtej i brązowej na wydzielanie melatoniny jest zgodny z tym, że barwa żółta jest typowym blokerem promieniowania niebieskiego. Okulary przeciwsłoneczne z filtrami żółtymi są stosowane do tłumienia promieniowania niebieskiego przy zachowaniu relatywnie wysokiej transmisji w zakresie widzialnym.

Nie można jednak postawić tezy, że zmiana widma promieniowania widzialnego dochodzącego do oka jednoznacznie wpływa na procesy biologiczne, których konsekwencją jest hamowanie lub przyspieszanie procesu wydzielania melatoniny. Udowodnienie takiej tezy

wymagałoby przeprowadzenia wielu badań z udziałem ludzi. Wyniki badań zaprezentowane w niniejszej pracy wskazują jednak, że zastosowanie okularów przeciwsłonecznych z filtrami o różnych barwach modyfikuje widmową charakterystykę przepuszczania (widmo) promieniowania widzialnego docierającego do oka (w tym promieniowania niebieskiego) w taki sposób, że może potencjalnie wpływać na przebieg procesu hamowania wydzielania melatoniny.

PIŚMIENNICTWO

1. Thekaekara M.P.: Solar energy outside the Earth's atmosphere. *Sol. Energy* 1973;14(2):109–127, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(73)90028-5)
2. PN-EN ISO 12312-1:2014. Ochrona oczu i twarzy. Okulary przeciwsłoneczne i odpowiadające im ochrony oczu. Część 1 – okulary przeciwsłoneczne do zastosowań ogólnych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2014
3. PN-EN ISO 12311:2014-02. Środki ochrony indywidualnej – metody badań okularów przeciwsłonecznych i odpowiadających im ochron oczu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2014
4. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E. i wsp.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptors. *J. Neurosci.* 2001;21(16):6405–6412
5. Thapan K., Arendt J., Skene D.: An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.* 2001;535:261–267, <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00261.x>
6. Lucas R.J., Peirson S.N., Berson D.M., Brown T.M., Cooper H.M., Czeisler C.A. i wsp.: Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 2014;37(1):1–9, <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>
7. Aube M., Roby J., Kocifaj M.: Evaluating potential spectra impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLoS One* 2013;8(7): 1–15, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067798>
8. Badia P., Myers B., Boecker M., Culepepper J., Harsh J.R.: Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiol. Behav.* 1991;50(3):583–588, [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(91\)90549-4](https://doi.org/10.1016/0031-9384(91)90549-4)
9. Beaven C.M., Ekström J.: A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans. *PLoS One* 2013;8(10):e76707, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076707>
10. Brainard G.C., Hanifin J.P.: Photons, clocks, and consciousness. *J. Biol. Rhythms* 2005;20(4):314–325, <https://doi.org/10.1177/0748730405278951>

11. Górnicka G.: Lighting at work. Environmental study of direct effects of lighting level and spectrum on psychological variable. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 2008
12. Hanifin J.P., Stewart K.T., Smith P., Tanner R., Rollag M., Brainard G.C.: High-intensity red light suppresses melatonin. *Chronobiol. Int.* 2006;23(1-2):251-268, <https://doi.org/10.1080/07420520500521988>
13. Crawford B.H.: The scotopic visibility function. *Proc. Phys. Soc. London, Sect. B* 1949;62(5):321-334, <https://doi.org/10.1088/0370-1301/62/5/305>