

Grzegorz Owczarek, Joanna Szkudlarek

Filtry ułatwiające rozpoznawanie barw w środowisku pracy i życiu codziennym

MATERIAŁY INFORMACYJNE

CIOP  PIB

Materiały informacyjne CIOP-PIB

Filtry ułatwiające rozpoznawanie barw w środowisku pracy i życiu codziennym

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt III.PB.10, pt. „Opracowanie filtrów ułatwiających rozpoznawanie barw w środowisku pracy dla osób z dysfunkcją widzenia”.

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy

dr inż. Grzegorz Owczarek, dr inż. Joanna Szkudlarek – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowanie redakcyjne

Monika Piech-Rzymowska

Opracowanie graficzne

Anna Borkowska

@Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

CIOP  PIB

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

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

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Widzenie barw	4
3. Znaczenie barw w środowisku pracy i życiu codziennym	6
4. Filtry optyczne stosowane w środowisku pracy i życiu codziennym	10
5. Filtry ułatwiające rozpoznawanie barw	14
Bibliografia	16

1. Wprowadzenie

Zagadnienie dotyczące zastosowania filtrów ułatwiających rozpoznawanie barw w środowisku pracy i życiu codziennym należy rozpatrywać, uwzględniając fizjologię widzenia, znaczenie informacji, jakie niosą ze sobą kolory, a także sposób działania filtrów optycznych. Te obszary wiedzy są ze sobą bezpośrednio lub pośrednio powiązane.

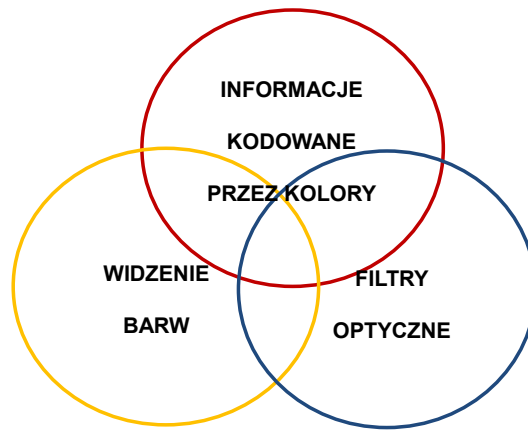
Postrzeganie barw to zdolność rozróżniania przedmiotów oparta na wrażliwości oka na długości fali, które te przedmioty odbijają, emitują lub przepuszczają. Kolor to z kolei cecha tworzona przez mózg. Układ nerwowy rejestruje kolor poprzez porównanie odpowiedzi czopków na światło, czyli promieniowanie optyczne z zakresu długości fali od 380 do 780 nm.

Kolor to również informacja. W świecie, w którym większość informacji dociera kanałem wzrokowym, informacje kodowane przez kolory mają bardzo istotne znaczenie co do sposobu odbioru i właściwej interpretacji informacji.

Filtr optyczny to element, przez który patrzymy w przypadku, kiedy konieczne jest ograniczenie docierającego do oka natężenia promieniowania optycznego. Jest to promieniowanie zarówno z zakresu widzialnego (VIS, ang. *visible*), jak i promieniowania nadfioletowego (UV, ang. *ultraviolet*) o długościach fal mniejszych niż 380 nm oraz promieniowania podczerwonego (IR, ang. *infrared*) o długościach fal większych niż 780 nm.

Większość stosowanych filtrów optycznych to filtry barwne. Patrzeć przez tego typu filtry może zakłócić widzenie barw u osób prawidłowo rozpoznających kolory lub – w szczególnych przypadkach – umożliwić rozróżnienie określonej barwy przez osoby z dysfunkcją widzenia barw.

Obszary, które uwzględnia się, analizując zagadnienie zastosowania filtrów ułatwiających rozpoznawanie barw przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



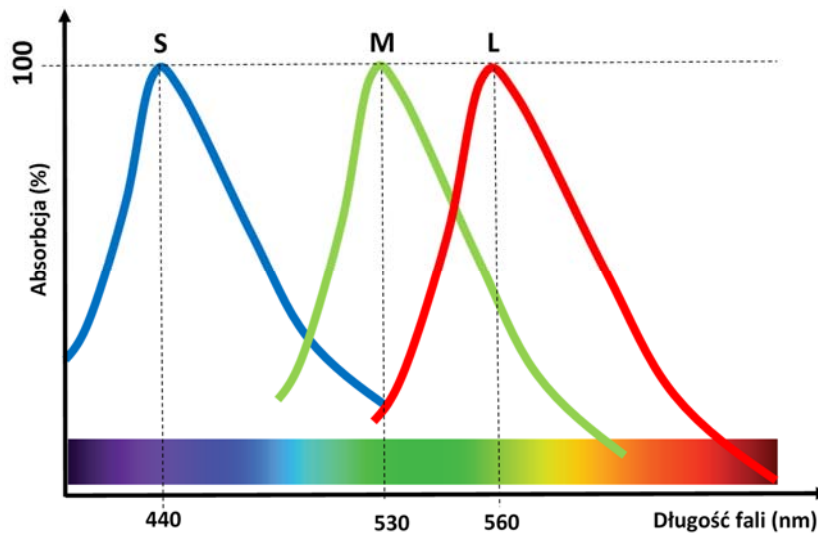
Rys. 1. Obszary, które należy uwzględnić, analizując zagadnienie zastosowania filtrów ułatwiających rozpoznawanie barw [rys. autora]

2. Widzenie barw

To, czy oko będzie w stanie rozróżnić określoną długość fali (barwę), zawierającą się w zakresie przedziału określanego jako widzialny (VIS, 380-780 nm), jest cechą osobniczą i zależy od wrażliwości komórek receptorowych rozmieszczonych na siatkówce oka.

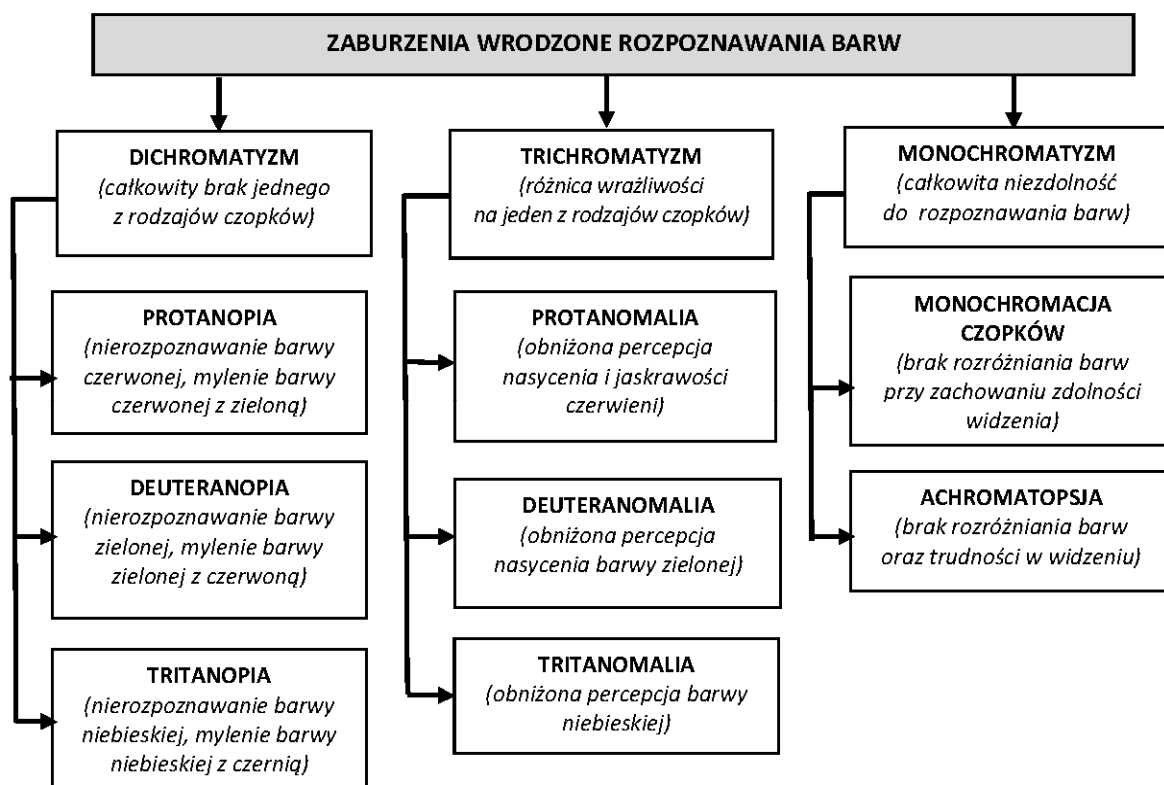
Proces widzenia ma charakter elektrochemiczny. Kiedy w siatkówce oka komórki receptorowe (pręciki lub czopki) zostają pobudzone światłem, zmianie ulega chemiczna kompozycja pigmentu zawartego w tych komórkach. Powoduje to wygenerowanie prądu elektrycznego do mózgu przez włókna nerwowe [1].

Układ nerwowy rejestruje kolor przez porównanie odpowiedzi czopków na światło. Rozróżnia się trzy rodzaje czopków: S (maksimum czułości dla $\lambda = 440$ nm), M (maksimum czułości dla $\lambda = 530$ nm) oraz L (maksimum czułości dla $\lambda = 560$ nm). Jeśli odpowiedź czopków jest zaburzona, rozpoznawanie barw będzie również zaburzone. Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie względną czułość widmową czopków S, M i L.



Rys. 2. Względna czułość widmowa czopków L,M i S [rys. autora]

Zaburzenia rozpoznawania barw dzielą się na zaburzenia nabyte oraz wrodzone. Zaburzenia wrodzone sklasyfikowane są zgodnie z rodzajem uszkodzonych czopków oraz stopnia ich uszkodzenia, a ich podział przedstawiono na rysunku 3 [2].



Rys. 3. Klasyfikacja zaburzeń wrodzonych rozpoznawania barw [rys. autora]

Szacuje się, że upośledzenie widzenia barw CVD (ang. *Color vision deficiency*) dotyczy 8% mężczyzn i ok. 0,5% kobiet [3]. Każda z form niedoboru koloru zmienia widzenie kolorów w różny sposób. Szczególnym przypadkiem jest achromatopsja, czyli widzenie w czerni i bieli lub w odcieniach szarości.

Większość osób z dysfunkcją widzenia barwnego ma problemy z rozpoznawaniem odcieni czerwonego i zielonego, rzadziej niebieskiego oraz barwy żółtej [4].

3. Znaczenie barw w środowisku pracy i życiu codziennym

Kolory służą do kodowania informacji. Kolor to również dane. Upośledzenie rozpoznawania barw prowadzi do ograniczonego dostępu do tych danych, co w konsekwencji skutkuje błędną ich interpretacją oraz niepełnym lub niewłaściwym odczytem informacji zakodowanej przez kolory.

Upośledzenie rozpoznawania barw (brak możliwości ich rozróżnienia z obserwowanego miejsca) może stanowić poważny problem z oceną środowiska. Dotyczy to w szczególności środowiska pracy, w którym kolory mogą odgrywać kluczowe znaczenie przy ocenie procesów technologicznych lub być istotnym elementem systemów bezpieczeństwa.

Opis najważniejszych obszarów, które są obsługiwane dzięki informacjom kodowanym przez kolory, opracowali A. Chaparro i M. Chaparro w 2017 [5] roku.

Obszary kodowane przez kolory określone są jako:

- porównawcze,
- denotacyjne,
- konotacyjne,
- estetyczne.

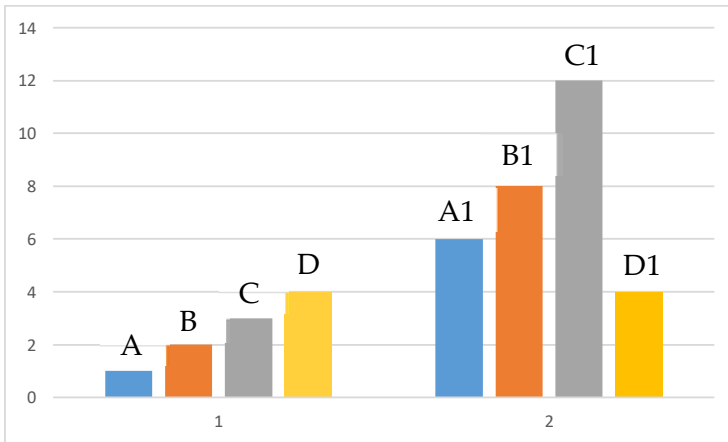
Jeśli czynności w miejscu pracy obejmują obszary obsługiwane dzięki informacjom kodowanym przez kolory, może to stanowić ograniczenie dla osób z upośledzeniem widzenia barw.

Opisane poniżej obszary nie mają bezpośredniego związku z fizjologią widzenia. Zagadnienie to jest jednak istotne w odniesieniu do zawodów (stanowisk pracy), na których wymagane jest od pracownika rozpoznawanie barw. W tabeli 1. zestawiono określone przez A. Chaparro i M. Chaparro obszary obsługiwane dzięki informacjom kodowanym przez kolory (obszary: porównawczy, denotacyjny, konotacyjny i estetyczny) wraz z podaniem przykładów, w których bardzo ważną rolę mają informacje kodowane przez kolory.

Tabela 1. Obszary obsługiwane dzięki informacjom kodowanym przez kolory (opracowanie własne na podstawie: [6])

Obszar	Przykład
<p><u>Porównawczy:</u> obejmuje zadania, w których obserwator musi osądzić, czy dwa kolory są identyczne</p>	<p><u>Określenie różnic kolorów</u> Wynikiem oceny jest porównanie wymagające względnej lub bezwzględnej oceny, czy dwa kolory są identyczne czy nie. Przykładem może być ocena dwóch próbek farby (różne/ jednakowe).</p>
	<p><u>Wyszukiwanie wizualne</u> Kolor, przyciągając uwagę, pełni funkcję ważnej wskazówki, która sprawia, że wyszukiwanie wizualne staje się bardziej skuteczne.</p>
<p><u>Denotacyjny:</u> kolor w zadaniach służy do przyciągnięcia uwagi, przeprowadzenia segregacji i/lub uporządkowania</p>	<p><u>Segmentacja z wykorzystaniem barwy</u> Segmentacja polega na uporządkowaniu, pogrupowaniu kolorów, które organizują wizualną scenę. Ta właściwość percepcyjna jest używana m.in. podczas projektowaniu tablic Ishihary.</p>
	<p><u>Ograniczanie bałaganu wizualnego</u> Kolor może zmniejszyć chaos wizualny, zapewniając porządek w materiałach graficznych czy ilustracjach. Przykładem mogą być mapy, w których dany kolor reprezentuje różne typy obiektów (np. drogi, typ terenu, itp.).</p> <p><u>Identyfikacja obiektu na podstawie barwy</u> Charakterystyczny kolor obiektu może ułatwić identyfikację. Przykładem jest zastosowanie różnokolorowych ubiorów przez obsługę lotniskowca w celu łatwego zidentyfikowania osoby z pełnioną przez nią funkcją, np.: czerwony – załogi ratownicze, usuwanie ładunków wybuchowych, żółty – oficerowie samolotów, zielony – załogi katapult i urządzeń zatrzymujących, biały – inspektorzy samolotów, oficer sygnału lądowania.</p>
<p><u>Konotacyjny:</u> kolor jest przypisany do konkretnego znaczenia, np. sygnalizuje niebezpieczeństwo.</p>	<p><u>Wskazanie statusu na podstawie barwy</u> Na przykład kolorowe diody LED na drukarce wskazują jej status; światła drogowe pozwalają kierowcom ustalić, czy można kontynuować jazdę.</p>
	<p><u>Określenie wartości na podstawie barwy</u> Przykładem jest mapa temperatury (termogram) wykonany kamerą termowizyjną.</p>
	<p><u>Określenie właściwości materiału na podstawie barwy</u> W przyrodzie kolor może ujawnić różnice w materiałach i właściwościach obiektów. Na przykład kolor owocu może wskazywać, czy jest dojrzały.</p>
<p><u>Estetyczny:</u> Kolor poprawia estetykę, wywołuje reakcję emocjonalną, lub wpływa na zmianę nastroju</p>	<p><u>Wspieranie wyborów estetycznych</u> Kolor jest powszechnie stosowany w kulturze i sztuce, które to może różnić się w zależności od kontekstu. Kolor może oddawać nastroj lub posłużyć jako metafora, np. Mieć czarne myśli.</p>

Na rysunkach od 4 do 7 przedstawiono grafiki obrazujące przykłady informacji kodowanych przez kolory w obszarach: porównawczym, detonacyjnym, konotacyjnym i estetycznym.



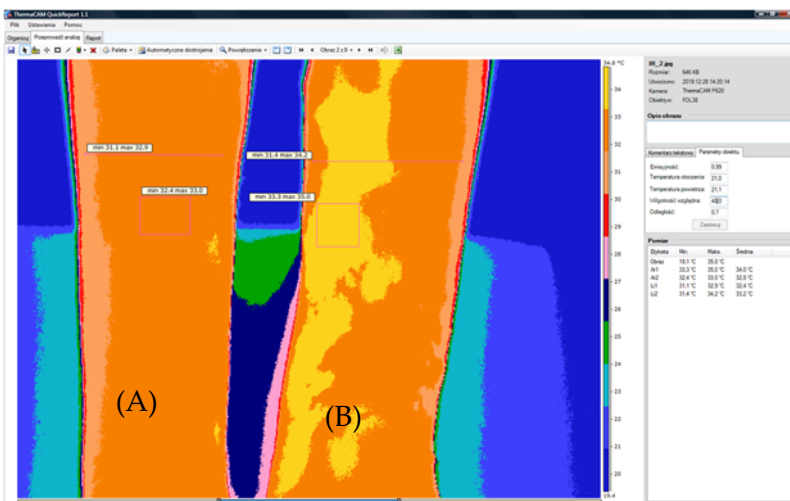
Na wykresach serii 1 i 2 poszczególne słupki mają przypisany określony kolor. Porównując kolory słupków dwóch serii, można zaobserwować, że kolor słupka D (seria 1) różni się od koloru słupka D1. (seria 2)

Rys. 4. Obszar porównawczy – porównanie wymagające względnej lub bezwzględnej oceny, czy dwa kolory są identyczne czy nie [rys. autora]



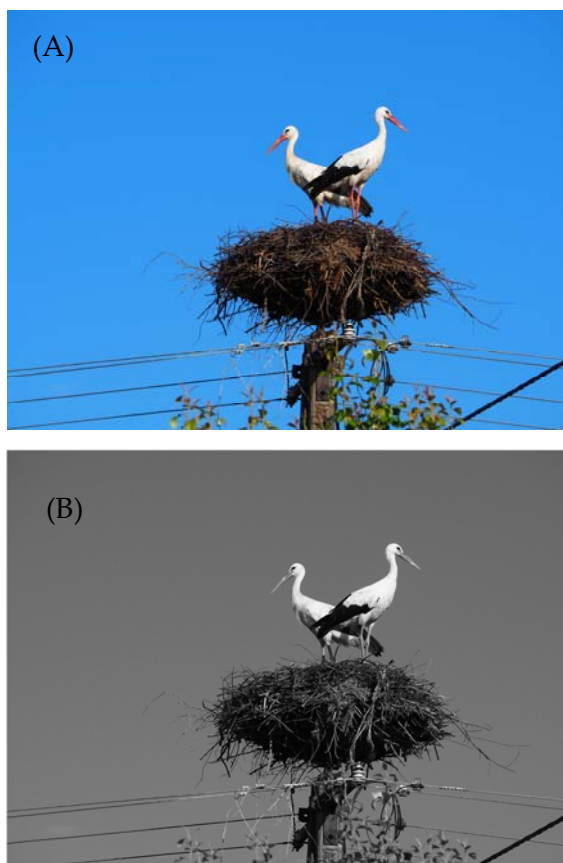
Obraz z tablicy Ishihary przed i po wykonaniu dopasowania polegającego na modyfikacji palety barw

Rys. 5. Obszar detonacyjny – segmentacja polegająca na uporządkowaniu kolorów [rys. autora]



Na obrazie zarejestrowanym przez termokamerę (termogram) określona barwa odpowiada określonej temperaturze. Na przedstawionym przykładzie termogramu widoczne są różnice temperatury na nodze zdrowej (A) i objętej zmianami chorobowymi (B)

Rys. 6. Obszar konotacyjny – określenie wartości na podstawie barwy [rys. autora]



Zmiana wysycenia barw lub przedstawienie fotografii w odcieniach szarości (paleta monochromatyczna) może zasadniczo zmienić odbiór sfotografowanego obiektu. Na przedstawionym przykładzie zdjęcie (A) w jednoznaczny sposób jest kojarzone ze słoneczną pogodą. Tak jednoznacznego kontekstu nie można odczytać ze zdjęcia (B)

Rys. 7. Obszar estetyczny – oddanie nastroju lub kontekstu [fot. autora]

Stan zdrowia może być przeciwwskazaniem do wykonywania określonych zawodów. Dotyczy to również wad wzroku, w tym upośledzenia rozpoznawania barw. Upośledzenie rozpoznawania barw może znacząco utrudnić, a nawet uniemożliwić pracę w niektórych zawodach, zwłaszcza w tych, w których prawidłowe postrzeganie barw jest bezpośrednio związane z bezpieczeństwem pracy pracownika, jak również bezpieczeństwem bezpośredniego otoczenia lub uwarunkowaniami nadzorowanych procesów technologicznych.

Do zawodów, w których w naturalny sposób z uwagi na wykorzystanie w procesie pracy informacji kodowanych przez kolory wymagane jest widzenie barwne, można zaliczyć m.in. takie zawody jak: pilot, kierowca, farmaceuta, elektryk, chemik. Dla wymienionych powyżej przykładów zawodów rozpoznawanie barw podczas wykonywania określonych czynności może być bezwzględnie wymagane. Należy jednoznacznie podkreślić, że w zależności od zakresu pracy wykonywanej przez przedstawiciela danego zawodu widzenie barwne może być lub nie musi być bezwzględnie wymagane. Przykładem jest wykonywanie zawodu elektryka. Osoba dotknięta zaburzeniem widzenia barw może przecież wykonywać wiele czynności, które mieszczą się w kompetencjach elektryka. Niewskazane, a wręcz niebezpieczne może być jednak wykonywanie przez taką osobę czynności polegających np. na łączeniu wielobarwnych wiązek przewodów elektrycznych. Można wyróżnić również

także zawody, w których jest wymagane niezakłócone widzenie barwne w aspekcie poprawności wykonywania samej pracy (np. w przypadku kucharza lub projektanta wnętrz).

Wymagania w zakresie widzenia barwnego, które m.in. określają przeciwwskazania do wykonywania określonych zawodów, mają zasięg lokalny, są ustalane odrębnie przez każde państwo [7]. Podkreśla się jednak znaczenie widzenia barwnego w zawodach związanych z ruchem lądowym, wodnym i powietrznym.

Kolor w środowisku pracy i życiu codziennym nabiera obecnie coraz większego znaczenia z uwagi na powszechne zastosowanie monitorów i ekranów oraz systemów barwnych świateł sygnalizacyjnych.

W otaczającym nas świecie – zarówno w obszarach zawodowych, jak i w życiu codziennym – światła sygnalizacyjne stanowią ważny element, wykorzystywany m.in. w systemach regulacji ruchu lądowego, powietrznego i wodnego, oraz w szeroko pojętych systemach ostrzegawczych i alarmowych. Barwa, natężenie oraz charakterystyka świecenia (tryb ciągły lub impulsowy) uzależniona jest od rodzaju i zastosowania świateł sygnalizacyjnych. Sygnały emitowane przez światła sygnalizacyjne bardzo często są skorelowane z sygnałami emitowanymi dźwiękowo. Najbardziej powszechnie znane są sygnalizacyjne światła drogowe o barwie czerwonej, żółtej i zielonej. Barwy te powinny być jednoznacznie rozpoznawalne przez użytkowników dróg, w szczególności przez kierowców.

Spełnienie wymagań w zakresie pełnego rozpoznawania barw jest restrykcyjnie egzekwowane w przypadku wielu zawodów, w których sygnalizacja świetlna jest stałym elementem infrastruktury miejsca pracy (np. węzły kolejowe, porty morskie i rzeczne, lotniska) lub wykonywanych czynności (w zawodach: pilota, marynarza, kierowcy).

4. Filtry optyczne stosowane w środowisku pracy i życiu codziennym

Zadaniem filtrów optycznych, które są stosowane w środowisku pracy i życiu codziennym jest niedopuszczenie do ekspozycji oczu na dawki promieniowania optycznego, które mogą spowodować uszkodzenie narządu wzroku oraz być powodem oślnienia.

Powyższe sformułowanie ogólnie określa przeznaczenie filtrów optycznych stosowanych w różnego rodzaju środkach przeznaczonych do ochrony oczu, takich jak okulary, gogle lub osłony twarzy. Mając na uwadze, że zarówno zakres długości fal, jak i poziom promieniowania optycznego – które występuje na różnych stanowiskach pracy oraz w naturalnym środowisku i życiu codziennym – jest bardzo szeroki, również konstrukcja i charakterystyki stosowanych filtrów optycznych są znacząco różne.

Zasada działania filtrów optycznych stosowanych w środowisku pracy i życiu codziennym, niezależnie od warunków, w których filtry są stosowane, jest zawsze taka sama – obniżenie poziomu promieniowania optycznego dla zakresu promieniowania optycznego stwarzającego zagrożenie.

Podstawowym zadaniem jednych z najbardziej popularnych i powszechnie stosowanych filtrów przeciwsłonecznych jest osłabienie światła, czyli promieniowania z zakresu widzialnego (VIS) do takiego poziomu, na którym nie wystąpi efekt olśnienia. Filtry te zapewniają również tłumienie promieniowania z zakresu nadfioletu (UV), a dodatkowo mogą również chronić przed promieniowaniem podczerwonym (IR). W analogiczny sposób działają filtry służące do ochrony oczu podczas spawania. Ich zadaniem jest również tłumienie promieniowania widzialnego (VIS), nadfioletu (UV) i podczerwieni (IR). Różnica między filtrami stosowanymi w okularach przeciwsłonecznych i ochronach spawalniczych polega m.in. na tym, że typowe okulary przeciwsłoneczne przepuszczają ok. 12-16% światła, a dla typowych filtrów spawalniczych, stosowanych do najczęściej wykonywanych procesów spawania, współczynnik przepuszczania światła jest na poziomie tysięcznych części procenta. Kilkunastotysięczna różnica wartości współczynników przepuszczania światła dla typowych filtrów stosowanych w okularach przeciwsłonecznych oraz osłonach spawalniczych wynika z intensywności światła emitowanego w warunkach naturalnych oraz podczas procesu spawania. Różnice w charakterystykach opisanych w powyższym przykładzie filtrów występują również dla zakresu nadfioletu (UV) i podczerwieni (IR).

Analizując szczegółowe, opisane w stosownych normach, wymagania dla poszczególnych typów optycznych filtrów ochronnych, można dojść do następującego wniosku:

Niezależnie od przeznaczenia optycznego filtra ochronnego poziom przepuszczania światła (VIS) jest zawsze skorelowany z poziomem tłumienia promieniowania z zakresu nadfioletu (UV) i/ lub podczerwieni (IR).

Jest to oczywista konsekwencja tego, że źródła promieniowania optycznego – niezależnie od tego, czy jest to źródło naturalne, czy sztuczne – emitują promieniowanie optyczne nie tylko w zakresie widzialnym. W sposób szczególny dotyczy to sztucznych źródeł promieniowania optycznego, takich jak wymienione powyżej procesy spawalnicze. Do sztucznych źródeł promieniowania optycznego, które stwarzają poważne zagrożeni dla oczu, należą również źródła promieniowania podczerwonego, np. przemysł hutniczy, promieniowanie laserowe (m.in. zastosowania medyczne, przemysłowe, wojskowe, do celów rozrywkowych lub w laboratoriach naukowych) oraz silne źródła promieniowania nadfioletowego (zastosowania przemysłowe).

Z uwagi na charakterystykę źródeł promieniowania wszystkie filtry optyczne stosowane w środowisku pracy i życiu codziennym można więc podzielić na pięć podstawowych grup:

- **filtry chroniące przed olśnieniem słonecznym,**
- **filtry chroniące przed promieniowaniem nadfioletowym,**
- **filtry chroniące przed promieniowaniem podczerwonym,**
- **filtry do zastosowania w procesach spawania i technikach pokrewnych,**
- **filtry chroniące przed promieniowaniem laserowym.**

Z wymienionych powyżej grup zasadniczo wszystkie filtry są filtrami barwnymi, a więc takimi, które mogą zaburzyć widzenie barw. Wyjątek mogą stanowić filtry chroniące przed nadfioletem oraz filtry chroniące przed promieniowaniem laserowym o określonych długościach fal. W przypadku filtrów chroniących przed nadfioletem wynika to właściwości materiałów zastosowanych do ich konstrukcji. Filtry chroniące przed nadfioletem mogą być wykonane z całkowicie przezroczystych materiałów organicznych (m.in. poliwęglan), które z uwagi na strukturę w znaczący sposób tłumią promieniowanie nadfioletowe niezależnie od ich zaciemnienia. Z kolei w przypadku filtrów chroniących przed promieniowaniem laserowym typowe szkło nieorganiczne (np. takie, jakie jest stosowane w szybach okiennych) zapewnia wysokie tłumienie dla zakresu promieniowania podczerwonego emitowanego przez lasery CO₂ ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$).

Należy jednak pamiętać, że w celu zastosowania określonego materiału do konstrukcji optycznych filtrów ochronnych konieczne jest potwierdzenie – przeprowadzenie stosownych badań w akredytowanym laboratorium badawczym – cech tych materiałów pod kątem ich możliwego obszaru zastosowania.

Patrzenie przez filtry barwne może być powodem zakłócenia widzenia barw. Może również poprawić widzenie określonych barw przez osoby z dysfunkcją widzenia barw.

W aktualnych wymaganiach normatywnych dla optycznych filtrów ochronnych coraz więcej uwagi poświęca się właściwości odnoszącej się do potencjalnego zakłócenia lub braku zakłóceń w rozpoznawaniu barw. W normie ISO 4007: 2018. Personal protective equipment – Eye and face protections – Vocabulary (Środki ochrony indywidualnej – Ochrona oczu i twarzy – Terminologia), w której określono właściwości optycznych filtrów ochronnych, aż w przypadku siedmiu z jedenastu rodzajów filtrów odniesiono się do właściwości związanej z rozpoznawaniem barw. W tabeli 2 wyszczególniono wszystkie określone w normie ISO 4007: 2018 rodzaje filtrów, ze wskazaniem na te rodzaje filtrów, które mogą wpływać na rozpoznawanie barw (dotyczy to w szczególności barw świateł sygnalizacyjnych).

Tabela 2. Oznaczenia ochronnych filtrów optycznych w zależności od przeznaczenia filtra (opracowanie CLOP-PIB na podstawie: ISO 4007:2018 [8])

Oznaczenie filtra	Właściwości filtra
F	filtr przeciwsłoneczny do użytku zawodowego zapewniający ochronę przed promieniowaniem nadfioletowym (UV)
FI	filtr przeciwsłoneczny do użytku zawodowego zapewniający zarówno ochronę przed promieniowaniem nadfioletowym (UV), jak i podczerwonym (IR)
I	filtr do ochrony przed podczerwienią (prawdopodobnie wpływa na rozpoznawanie świateł sygnalizacyjnych – ogólnie barw)
IC	filtr do ochrony przed podczerwienią spełniający wymagania dotyczące rozpoznawania barw
IR	filtr ochronny przed podczerwienią z podwyższonym odbiciem podczerwieni
IRC	filtr do ochrony przed podczerwienią z podwyższonym odbiciem podczerwieni spełniający wymagania dotyczące rozpoznawania barw
U	filtr do ochrony przed nadfioletem (prawdopodobnie wpływ na rozpoznawanie świateł sygnalizacyjnych – ogólnie barw)
UC	filtr do ochrony przed nadfioletem spełniający wymagania dotyczące rozpoznawania barw
W	filtr spawalniczy
WC	filtr spawalniczy spełniający wymagania dotyczące rozpoznawania barw
WRC	filtr spawalniczy z podwyższonym odbiciem podczerwieni spełniający wymagania dotyczące rozpoznawania barw

W normach z zakresu środków ochrony oczu brakuje jednak odniesienia do korelacji właściwości filtrów z dysfunkcją widzenia barw.

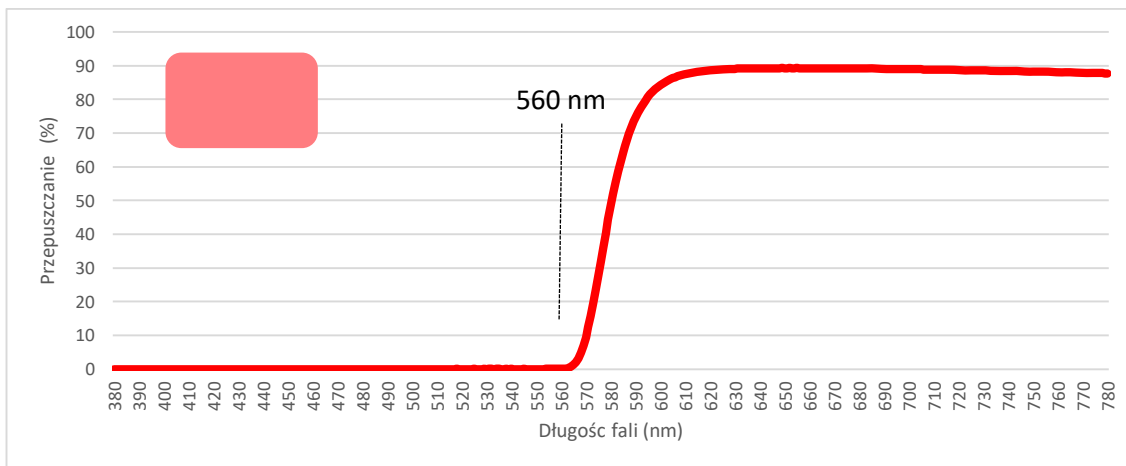
5. Filtry ułatwiające rozpoznawanie barw

Nawet osoba, która prawidłowo rozpoznaje barwy, doskonale zdaje sobie sprawę z tego, że to, w jaki sposób będzie postrzegana barwa, zależy od oświetlenia oraz filtru, przez który obserwowany jest barwny obiekt.

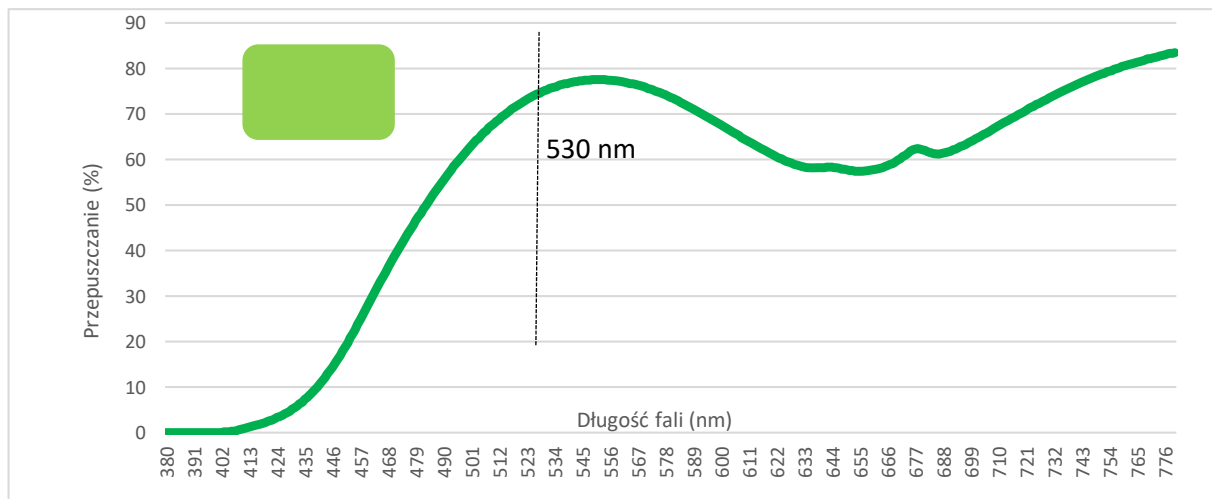
Jeśli odpowiedź czopków jest zaburzona, rozpoznawanie barw będzie również zaburzone. Załóżmy że zaburzona, ale nie całkowicie wyeliminowana jest odpowiedź np. czopków M. Wystąpi wtedy zaburzenie widzenia barwy czerwonej (protanopia). Barwa ta będzie więc gorzej rozpoznawalna. Osoba z zaburzoną odpowiedzią czopków M może nie odróżniać barwy czerwonej, szczególnie gdy obiekt o tej barwie będzie sąsiadował z obiektem o barwie, dla której odpowiedź czopków nie jest zaburzona. Jeśli zmodyfikowane zostanie widmo promieniowania optycznego docierającego do siatkówki oka w taki sposób, aby zmienione zostały proporcje w odpowiedzi poszczególnych rodzajów czopków (uwzględniając występujące zaburzenia), barwa obiektu może zostać zidentyfikowana prawidłowo.

Zmiana proporcji odpowiedzi poszczególnych czopków – w wyniku patrzenia przez barwny filtr – może więc być pomocna w rozróżnianiu barw. Dla osób z upośledzeniem rozpoznawania barw, a więc osób, dla których zaburzona jest odpowiedź czopków S, M lub L na światło, można przez zastosowanie filtru barwnego zmienić proporcje odpowiedzi poszczególnych czopków.

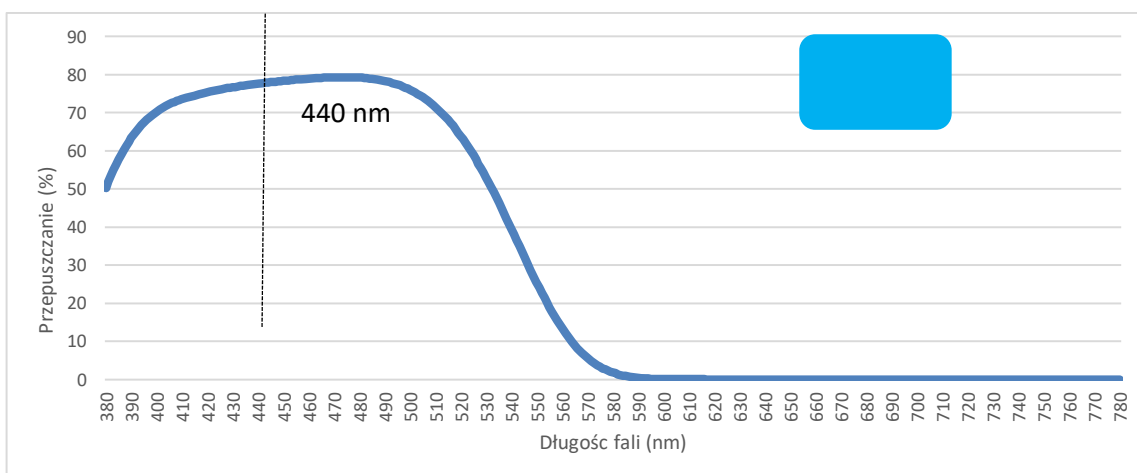
Na rysunkach od 8 do 10 przedstawiono charakterystyki widmowe filtrów barwnych, które zostały tak zaprojektowane, aby wywołać zmianę proporcji odpowiedzi czopków S, M lub L.



Rys. 8. Charakterystyka widmowa filtra optycznego blokującego promieniowanie optyczne o długościach fal krótszych od długości odpowiadającej maksimum czułości dla czopków L (ok. 560 nm) [rys. autora]



Rys. 9. Charakterystyka widmowa filtra optycznego, dla którego jedno z maksimum przypada dla długości fali odpowiadającej maksimum czułości dla czopków M (ok. 530 nm) [rys. autora]



Rys. 10. Charakterystyka widmowa filtra optycznego, dla którego maksimum przepuszczania przypada dla długości fali odpowiadającej maksimum czułości dla czopków S (ok. 440 nm) [rys. autora]

Charakterystyki widmowe filtrów barwnych przeznaczonych do wspomagania widzenia barw dla osób z dysfunkcją widzenia muszą być skorelowane ze zmianami proporcji odpowiedzi poszczególnych czopków, których czułość odpowiada za widzenie barwne (czopki S M i L).

W zależności od barwy, której rozpoznawanie jest zaburzone (*protanopia*, *deuteranopia* lub *tritanopia*), barwa filtru jest inna.

W przypadku *protanopii* możliwe jest zastosowanie filtrów żółtych lub czerwonych. Potencjalnie najlepszym efektem w poprawie rozpoznawania barwy czerwonej są filtry, dla których występuje blokowanie promieniowania optycznego o długościach fal krótszych od długości fali odpowiadającej maksimum czułości dla czopków L (ok. 560 nm). W przypadku *tritanopii* potencjalnie najlepszym efektem w poprawie rozpoznawania barwy niebieskiej są filtry charakteryzujące się wysokim przepuszczeniem dla długości fal z przedziału odpowiadającego czułości czopków S (ok. 440 nm) i M (ok. 530 nm) oraz obniżeniem przepuszczania dla długości fal dłuższych od długości fali odpowiadającej maksimum czułości czopków L (ok. 560 nm). W przypadku *deuteranopii* potencjalnie najlepszym efektem w poprawie rozpoznawania barwy zielonej są filtry charakteryzujące się maksimum długości fal z przedziału odpowiadającego czułości czopków S (ok. 530 nm) i L (ok. 560 nm) oraz zwiększonym przepuszczeniem dla długości fal dłuższych od 560 nm.

Filtry optyczne nie naprawiają defektu widzenia barw. Dzięki temu, że odpowiednio zmodyfikowana charakterystyka widmowa filtru powoduje zmianę proporcji w odpowiedzi poszczególnych czopków, mogą ułatwić rozpoznawanie określonej barwy przez osoby z dysfunkcją widzenia barw.

Bibliografia

- [1] Wolska A. Psychofizjologia widzenia. W: Technika świetlna '98. Poradnik – Informator. Polski Komitet Oświatleniowy, red. Warszawa: Stowarzyszenie Elektryków Polskich; 1998. s. 135-190.
- [2] Owczarek G. Problemy rozpoznawania świateł sygnalizacyjnych. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2018;6:12-15.
- [3] Chaparro A, Chaparro M. Applications of Color in Design for Color-Deficient Users. *Ergonomics in Design*. January 2017. [Online] <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1064804616635382>

- [4] American Optometric Association. Color vision deficiency. [Online] <https://www.aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/color-deficiency>
- [5] Chaparro A, Chaparro M. Applications of Color in Design for Color-Deficient Users. *Ergonomics in Design*. January 2017. [Online] <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1064804616635382>
- [6] Chaparro A, Chaparro M. Applications of Color in Design for Color-Deficient Users. *Ergonomics in Design*. January 2017. [Online] <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1064804616635382>
- [7] Vision Requirements for Driving Safety. Report prepared for the International Council of Ophthalmology at the 30th World Ophthalmology Congress. Sao Paulo, Brazil, February 2006; 2006. www.icoph.org/standards
- [8] ISO 4007:2018. Personal protective equipment – Eye and face protections – Vocabulary (Środki ochrony indywidualnej – Ochrona oczu i twarzy – Terminologia).