

# DEKONSTRUKCJA BIELI

Już małe dzieci wiedzą, że zieloną farbę dostaje się, mieszając żółtą z niebieską. Ale mieszając światło żółte z niebieskim, uzyskuje się róż. To proste, ale dlaczego tak jest...

JERZY KARPIUK

**Ś**WIAT mieni się od barw. Przyroda, zarówno ożywiona, jak i nieożywiona, nie tylko sama jest źródłem niewyczerpalnej mnogości odcieni, ale poprzez kontrasty, cienie, załamania, rozproszenia i refleksy stwarza światłu możliwość odgrywania niezliczonych efektów, tworzących nieraz fascynujące spektakle, takie jak tęcza czy polarna zorza.

Mimo że odpowiednie ubarwienie czy możliwość przystosowywania barwy do otoczenia nie jest warunkiem naszego przeżycia, potrzeba wrażeń barwnych i widzenia świata w kolorach należy do najbardziej podstawowych instynktów człowieka, który od zamierzchłych czasów z pasją ubarwia siebie, swoje otoczenie oraz bliższy i dalszy świat.

Rysunki naskalne w jaskiniach Altamiry i Lascaux dokumentują nie tylko potrzeby artystyczne naszych przodków sprzed 15 tys. lat, lecz także umiejętność pozyskiwania i wykorzystania (jakże trwałych) pigmentów barwnych. Wiemy, że barwienie tkanin było umiejętnością opanowaną i praktykowaną w Europie już w epoce brązu, niewykluczone więc, że znacznie pod tym względem wyprzedziliśmy Azję, bo pierwsze zachowane do naszych czasów zapisy informujące o stosowaniu barwników do tkanin w Chinach wskazują na 2600 rok p.n.e. Przez stulecia wyszukane barwy tekstyliów służyły podkreśleniu pozycji społecznej, a umiejętność ich tworzenia zapewniała pomyślność i wysoką rangę barwiarstwu – jednej z podstawowych dziedzin rzemiosła, a później przemysłu.

Burzliwy rozwój chemii organicznej w drugiej połowie XIX wieku był możliwy nie tylko dzięki odkryciom i postę-

powi w dziedzinie barwników syntetycznych, ale przede wszystkim – dzięki ogromnemu na nie zapotrzebowaniu. Wiele z nich, podobnie jak pierwszy syntetyczny barwnik – moweina – dało światu także nowe, nieznane wcześniej barwy. Ciekawe, że temu człowieczemu pożądaniu kolorów i – trzeba przyznać – dobrze rozwiniętej umiejętności jego zaspokajania, aż do czasów nowożytnych nie towarzyszyło zrozumienie podstawowych aspektów pojęcia barwy, w tym zwłaszcza rozróżnienie między barwą światła a barwą oświetlanych przedmiotów. U podstaw tego rozróżnienia leży koncepcja mieszania barw – ich syntezy i redukcji.

## Analiza

Przekonanie, że kolory, podobnie jak związki chemiczne, składają się z pewnych podstawowych elementów, sięga antyku. Starożytni Grecy uważali, że kolor jest wewnętrzną cechą ciał, wymagającą światła jedynie do aktywacji, podobnie jak prąd elektryczny aktywuje świecenie żarówki. Ten datujący się od Arystotelesa i utrzymujący przez Średniowiecze i Renesans pogląd na barwę łączył się także z rozróżnieniem kolorów pozornych i rzeczywistych. Za pozorne uznawano te, których istnienie zależało od pozycji obserwatora, natomiast barwy rzeczywiste były przynależne rzeczom. W takim ujęciu tęcza stanowiła klasyczny przykładem barwy pozornej (!), ponieważ każdy jej kolor dochodzi do naszego oka z nieco innej części łuku. Zależność barw od pozycji obserwatora nie jest szczególnie ewidentna, kiedy patrzymy na rozpostartą nad horyzontem tęczę

w deszczu, ale staje się oczywista, kiedy w słoneczny dzień oglądamy dużo bardziej ulotny (ale i znacznie bliższy) łuk tęczy tworzącej się w strudze kropli fontanny.

Odcinając się od tej średniowiecznej tradycji optyki, włoski lekarz Guido Antonio Scarmiglioni dał początek współczesnemu wyróżnieniu trzech barw podstawowych, postulując na początku XVII wieku, że jest pięć barw, z których można zestawzić wszystkie inne: biała, żółta, niebieska, czerwona i czarna. Pogląd ten upowszechnił w 1664 roku Rober Boyle, angielski uczone powszechnie uznawany za twórcę nowoczesnego pojęcia pierwiastka chemicznego, stwierdzając, że z tych pięciu *zdolny malarz może stworzyć kolor taki, jaki mu się tylko spodoba, a też i o wiele więcej, aniżeli te, dla których dotąd mamy nazwy*. Przełom nastąpił dekadę później, kiedy Isaac Newton przywrócił barwom tęczy realny byt i stworzył podstawy nowoczesnego myślenia o świetle i barwie.

Dążąc do poznania natury światła, Newton odkrył, że odpowiadające różnym barwom promienie uzyskane po przejściu światła słonecznego przez pryzmat nie są następnie rozszczepiane (przez kolejny pryzmat) i nazwał te nieredukowalne, monochromatyczne barwy czystymi albo prostymi. Takie same barwy obserwujemy właśnie w tęczy. W uzyskanym widmie, całkowicie arbitralnie, ale w zgodzie z duchem epoki, Newton wyróżnił siedem barw, w nawiązaniu do harmonii proporcji siedmiu tonów muzycznej oktawy.

Zastrzegając, że same promienie nie są barwne, Newton, podobnie jak nieco wcześniej twórca podstaw teorii tęczy, francuski filozof i matematyk René Descartes, zrównywał barwę ze światłem, a nie z oświetlanym obiektem. Ten pogląd uzasadniały doświadczenia z rozszczepianiem światła, wskazujące, że pozornie bezbarwne światło zawiera w sobie całą gamę barw.

„Atomizacja” barw w tęczy Newtona odbiła się szerokim echem wśród zawiedzionych takim ujęciem artystów i myślicieli doby romantyzmu. W odruchu kontestacji „szkiełka i oka”, angielski poeta John Keats zarzucił Newtonowi, że rozplatając tęczę, odbiera światu poetykę i przyrodzoną tajemniczość. Nie przecuwając, że kilkadziesiąt lat później to rozplecenie doprowadzi do powstania spektroskopii, która okaże się kluczem do znacznej części naszej współczesnej wiedzy ▶





czzerwonej, żółtej i niebieskiej ma kolor czarny (w przybliżeniu), podczas gdy od czasów Newtona wiadomo, że gama barw tęczy łączy się w biel.

Zagadnienie mieszania barw rozwiłkła w 1855 roku 24-letni wówczas James Clerk Maxwell, wykazując, że trzy barwy światła: czerwona, zielona i niebieska (oznaczone angielskim skrótem RGB: Red – czerwony, Green – zielony, Blue – niebieski), wystarczą do wytworzenia światła o niemal dowolnej barwie. Dziesięć lat przed odkryciem, że światło jest falą elektromagnetyczną, Maxwell wyjaśnił, że mieszanie barw światła nie jest tym samym, co mieszanie pigmentów czy farb. Mieszając promieniowanie świetlne o różnych długościach fali,  *dodajemy* do siebie składniki barwy, które razem wytwarzają na siatkówce wrażenie barwy odpowiadającej *syntezie* barw składowych. Zawsze, kiedy dodajemy promieniowanie do mieszaniny światła, zwiększamy liczbę fotonów w wiązce, która staje się jaśniejsza. Stąd też taką syntezę barwy nazywamy *addytywnym* mieszaniem barw.

Swoje teoretyczne rozważania Maxwell poparł eksperymentami, budując m.in. przyrząd umożliwiający syntezę całej gamy barw poprzez mechaniczne mieszanie barw podstawowych RGB w różnych proporcjach. Maxwell nie tylko zrozumiał, na czym polega fenomen addytywnej syntezy barw, ale także potrafił go genialnie wykorzystać do wykonania pierwszej w dziejach fotografii barwnej. Pod kierunkiem Maxwella angielski fotograf, Thomas Sutton, wynalazca lustrzanki jednoobiektywowej, w 1861 roku wykonał trzykrotnie zdjęcie wstążki tartanu (rodzaj szkockiej tkaniny w kratę) na czarno-białej błonie, raz z czerwonym, a następnie z zielonym i potem z niebieskim filtrem na obiektywie aparatu. Po wywołaniu te trzy czarno-białe zdjęcia zostały wyświetlone na ekranie trzema różnymi projektorami wyposażonymi odpowiednio w czerwony, zielony oraz niebieski filtr zastosowany do wykonania danego zdjęcia. Po nałożeniu na siebie, obrazy z projektorów (czarno-czerwony, czarno-zielony i czarno-niebieski) utworzyły pełnobarwny obraz, dowodząc słuszności zasady addytywnego dodawania barw.

### Skubanie tęczy

Barwa pigmentu lub farby jest barwą światła odbitego od powierzchni – przedmiot barwny ujmuje z widma światła białego promieniowanie, które absorbuje, pozostawiając oku odbite promieniowanie niepochłonięte. Pigmenty nie są źródłem światła, ale działają na promieniowanie, które je oświetla. Jak pisze Philip Ball w pięknie opowiedzianej historii artystycznych zastosowań pigmentów i barwników, <sup>1</sup> czerwony pigment „wyskubuje” z oświetlającej go bieli promienie niebieskie i zielone oraz sporą część żółtych, odbijając tylko czerwone. Pigment żółty wyciąga czerwone, niebieskie i sporo zielonych. Tak więc, mieszanina pigmentu czerwonego z żółtym odbija promieniowanie tylko z tego wąskiego zakresu, gdzie oba absorbują słabo – w pomarańczowej części widma, i taką też ma barwę. Ze względu na zubażanie światła o nowe pochłaniane

<sup>1</sup> P. Ball, „Bright Earth”, Penguin, 2001.

o Wszechświecie, niemiecki poeta i myśliciel, Johann Wolfgang Goethe, przypuścił gwałtowny atak na optykę Newtona, formułując własną teorię barw, swoiste *opus magnum*, które pod koniec życia uznał za dzieło istotniejsze niż jego spuścizna poetycka.

Nie mogąc sobie wyobrazić, że biel jest efektem połączenia wszystkich barw obecnych w widmie (barw tęczy!), Goethe uważał (w duchu epistemologii Kanta), że światło jest niepodzielną jednością, a barwy, ogólnie ujmując, wynikiem oddziaływania światła z ciemnością. Mimo że w warstwie fizycznej teorii Goethego szybko odrzucono (nie potrafiła np. wyjaśnić zjawiska tęczy), to jednak odcisnęła ona silne piętno na malarzach, zarówno współczesnych niemieckiemu poecie, jak i późniejszych. Goethe miał natomiast niewątpliwie rację, zwracając uwagę na trzeci fundamentalny aspekt pojęcia barwy – kolor to nie tylko światło i oświetlany obiekt, ale także efekt naszego postrzegania. Ta część jego „Farbenlehre” weszła na trwałe do nauki i teorii sztuki, dając początek i podstawy psychologii barw.

### Synteza

Jądra różnicy w sporze o barwę między Newtonem a Goethem i jego zwolennikami należy, przynajmniej po części, upatrywać w odmiennym, a właściwie różnym ujęciu zagadnienia mieszania barw. Rzeczywiście, mieszanie różnych barw światła daje inny efekt niż mieszanie farb (lub pigmentów) o tych samych kolorach: po zmieszaniu farby żółtej z niebieską dostajemy farbę zieloną, natomiast zmieszanie niebieskiego i żółtego światła daje światło różowe. Mieszanina farby

obszary widma tworzenie barwy poprzez mieszanie pigmentów nazywamy mieszaniem *subtraktywnym* lub *subtraktywną syntezą barwy*.

Każde dodanie nowego pigmentu do mieszaniny przekłada się na uszczuplenie widma odbijanego światła o kolejne częstotliwości promieniowania, a jej kolor blednie i ciemnieje, ponieważ do oka dociera mniej fotonów niepochłoniętych przez zabarwioną powierzchnię. Żywe i czyste kolory uzyskuje się za pomocą pigmentów o określonej barwie, a nigdy – stosując mieszaniny pigmentów. Sukcesy weneckich kolorystów doby Renesansu – Tycjana, Giorgionego, Tintoretta czy Veronesego – były wzmocnione efektem wykorzystania nowych pigmentów, które pod koniec XV wieku zaczęły docierać do weneckich portów. Artyści musieli jednak także szukać potrzebnych im barw, mieszając pigmenty: przez przeważającą część historii malarstwa,

aż do połowy XIX wieku nie było np. dobrych, czystych pigmentów pomarańczowych czy fioletowych. Ale czy to oznacza, że mistrzowie pędzla nie potrafili sobie poradzić? Wielkie dzieła dawnego malarstwa dowodzą, że jeśli już musieli pójść na kompromis, to z pewnością nie z własną wyobraźnią!

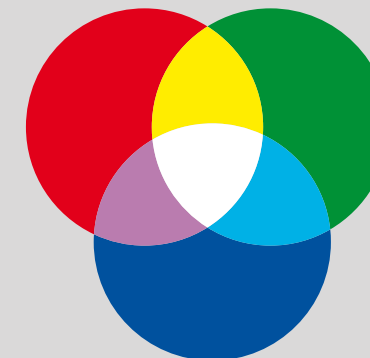
### CMYK i RGB, czyli drukarka i monitor

Subtraktywna synteza barw jest nie tylko domeną malarzy, ale wykorzystuje się ją w niemal wszystkich praktycznych zastosowaniach barwy związanych z pokrywaniem lub zdobieniem powierzchni albo przekazywaniem informacji w postaci drukowanej. Podstawą tych zastosowań jest optyczne współdziałanie barw pigmentów lub barwników z kolorem podłoża. Kiedy nakładamy żółtą farbę lub tusz na biały papier, wydaje się nam zazwyczaj, że dodajemy barwę. ▣

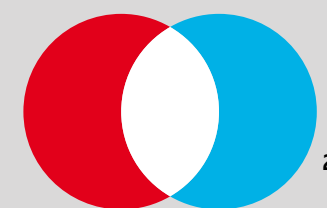
## ADDYTYWNE I SUBTRAKTYWNE MIESZANIE BARW

Rozróżnia się dwa odmienne sposoby mieszania barw: mieszanie różnych barw światła i mieszanie pigmentów barwnych. Mieszając barwy światła, poszerzamy jego skład widmowy i zwiększamy liczbę fotonów w wiązce, przez co uzyskujemy nową barwę, zawsze jaśniejszą niż barwy składowe. Dobierając odpowiednio barwy składowe, można uzyskać barwę białą. Proces ten nazywamy *addytywnym* mieszaniem lub *syntezą barw*.

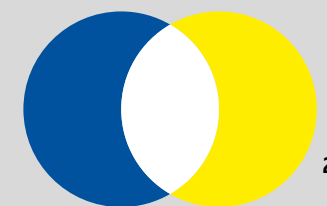
*Subtraktywna synteza* (mieszanie) barw polega na odejmowaniu z docierającego do oka promieniowania różnych zakresów obszaru widzialnego, zazwyczaj przez pochłanianie przez powierzchnię, od której odbija się światło białe, lub przez przepuszczanie światła przez filtry optyczne.



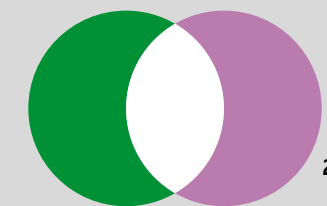
Rys. 1. Addytywne mieszanie trzech podstawowych barw światła daje światło białe. W wyniku mieszania dwóch barw podstawowych otrzymujemy barwy wtórne: turkusową, żółtą i purpurową.



Rys. 2. Barwy wtórne: turkusowa, żółta i purpurowa, nazywają się barwami dopełniającymi, ponieważ po zmieszaniu z barwą trzecią (przeciwstawną) dają barwę białą.



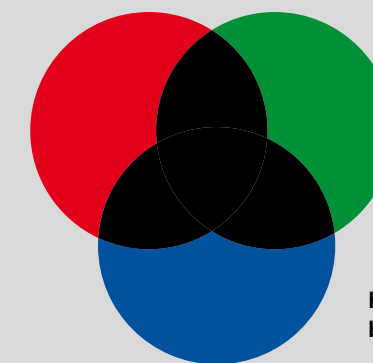
2b



2c



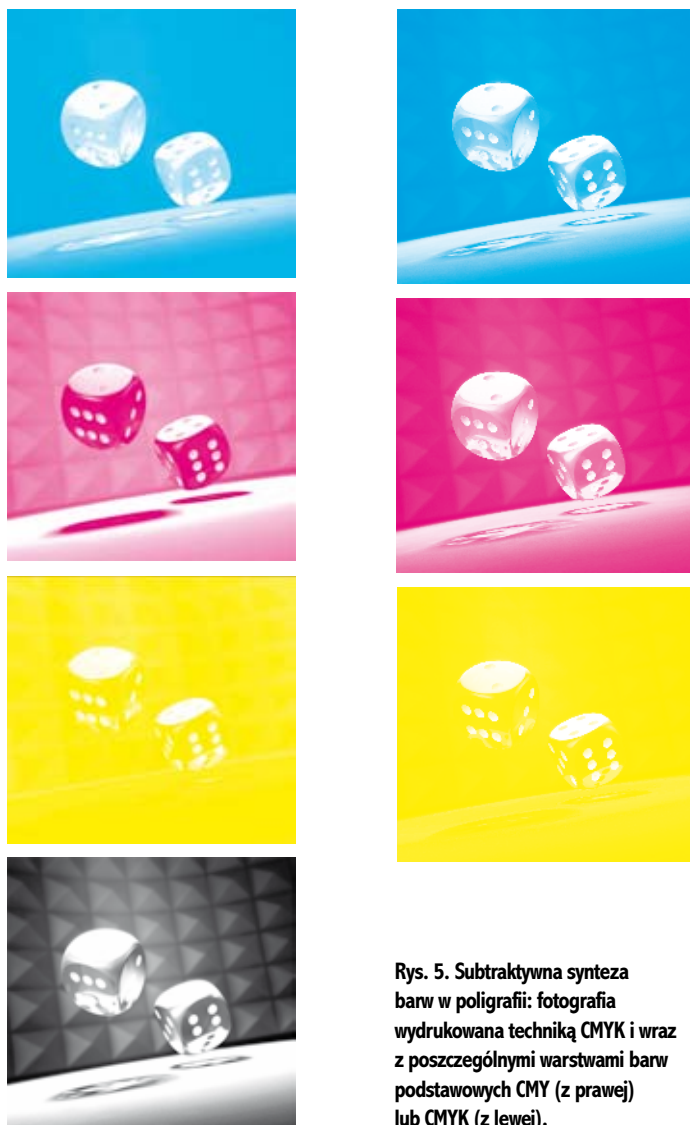
Rys. 3. W wyniku subtraktywnego mieszania dwóch barw dopełniających powstają barwy podstawowe, a subtraktywne mieszanie trzech barw podstawowych daje barwę czarną.



Rys. 4. W wyniku subtraktywnego mieszania dwóch barw podstawowych powstaje barwa czarna.

Rysunki zamieszczone w ramce pochodzą ze strony <http://www.swiatlo.tak.pl>





Rys. 5. Subtraktywna synteza barw w poligrafii: fotografia wydrukowana techniką CMYK i wraz z poszczególnymi warstwami barw podstawowych CMY (z prawej) lub CMYK (z lewej).

✘ Tymczasem w istocie jest odwrotnie, ta barwa już tam jest, gdyż biały papier odbija wszystkie barwy światła, to tylko my nie możemy jej wyodrębnić.

Żółty tusz odbija tylko światło czerwone i zielone, które dociera następnie do obserwatora w postaci addytywnej mieszaniny tych barw jako żółte (ramka 2 – rys. 1), natomiast absorbuje światło niebieskie, w ten sposób usuwając je ze światła białego. Podobnie tusz turkusowy absorbuje światło czerwone, a odbija zielone i niebieskie, których addytywna synteza daje właśnie turkus. Kolor purpurowy jest addytywnym złożeniem czerwonego i niebieskiego, więc patrząc na rysunki (rys. 1 i 2 na stronie 23) bez trudu możemy się domyślić, że purpurowy tusz absorbuje światło zielone. Krótko mówiąc, w syntezie subtraktywnej każda barwa pigmentu lub barwnika odejmuje ze światła białego swoją barwę dopełniającą (rys. 2).

Trzy wspomniane barwy: turkusowa, purpurowa i żółta są barwami dopełniającymi dla trzech barw podstawowych RGB i w połączeniu z kolorem czarnym, dodanym ze względów praktycznych na potrzeby poligrafii, stanowią zestaw czterech podstawowych barw farb drukarskich określany angielskim skrótem CMYK (Cyan Magenta Yellow black)<sup>2</sup> i stosowany powszechnie w druku kolorowym (również w drukarkach komputerowych, kserokopiarkach itp.). Farby CMYK są substancjami barwiącymi częściowo przepuszczającymi światło (oprócz barwy czarnej), łączy się je nie metodą mieszania, ale nakładania warstwami i dlatego kolorowy obraz wydrukowany w technice CMYK należy patrzeć jak na cztery warstwy kolorowej transparentnej folii. Drukowanie farbami CMYK wykorzystuje technikę rastrową, polegającą na zestawianiu obrazu z siatki drobnych kropek, z których każda jest albo (i) niezabarwiona (wtedy pozostaje biała) albo też zabarwiona (ii) jedną barwą CMYK (w 100%), (iii) jedną z trzech barw powstałych w wyniku nałożenia dwóch barw CMYK z różnych warstw: czerwoną (M+Y), zieloną (C+Y) lub niebieską (C+M) albo (iv) barwą czarną. Pomimo że wielobarwność druku CMYK jest zdumiewająca (rys. 5) i na wydrukowanym tą techniką zdjęciu widzimy bardzo dużo kolorów, w istocie patrzymy tylko na siedem barw, nie licząc białej!

Druk, który od 1452 roku intensywnie wspomaga rozwój naszej cywilizacji, umożliwiając nie tylko efektywne przekazywanie informacji między generacjami, ale pozwalając na ich gromadzenie i zachowywanie dorobku kulturalnego i naukowego kolejnych pokoleń, jest coraz skuteczniej uzupełniany, a nawet zastępowany elektronicznymi środkami komunikacji. Rola papieru przejmuje ekran wyświetlacza, monitora czy telewizora, natomiast rolę kropek rastra – piksele, drobne kwadraciki (np. o boku 0,28 mm) będące najmniejszymi elementami obrazu wyświetlanego na ekranie. Podobnie jak kropki na papierze, tak piksele są atomami barwy, jednak w odróżnieniu od monobarwnych kropek, barwę pikseli wytwarza się w procesie

<sup>2</sup> Barwy tworzące zestaw CMYK w zasadzie tylko przypominają te, które w języku polskim nazywamy turkusową, purpurową i żółtą, ale się nieco od nich różnią i dlatego w języku polskim przyjęły się nazwy cyan i magenta.

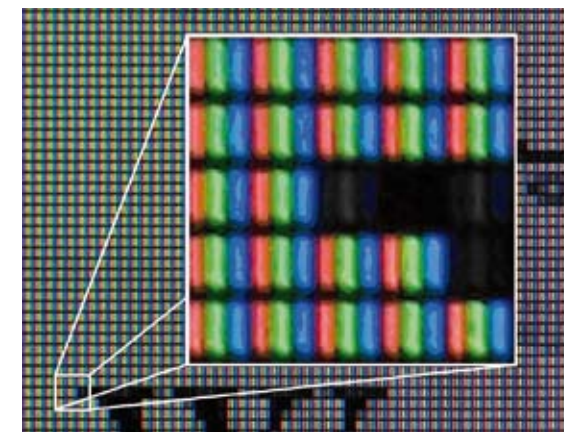
addytywnej syntezy barw – zazwyczaj barw RGB – w samym pikselu. Każdy piksel składa się z trzech subpikseli, które są źródłem barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej (rys. 7). Sterując natężeniem światła emitowanego przez poszczególne subpiksele, można dobierać wypadkową barwę i natężenie światła całego piksela. W monitorach ciekłokrystalicznych światło to pochodzi z lamp podświetlających, natomiast w wyświetlaczach OLED-owych same piksele emitują światło, co znakomicie poprawia żywość barw i kontrast wyświetlanego obrazu.

### Jak zmierzyć kolor?

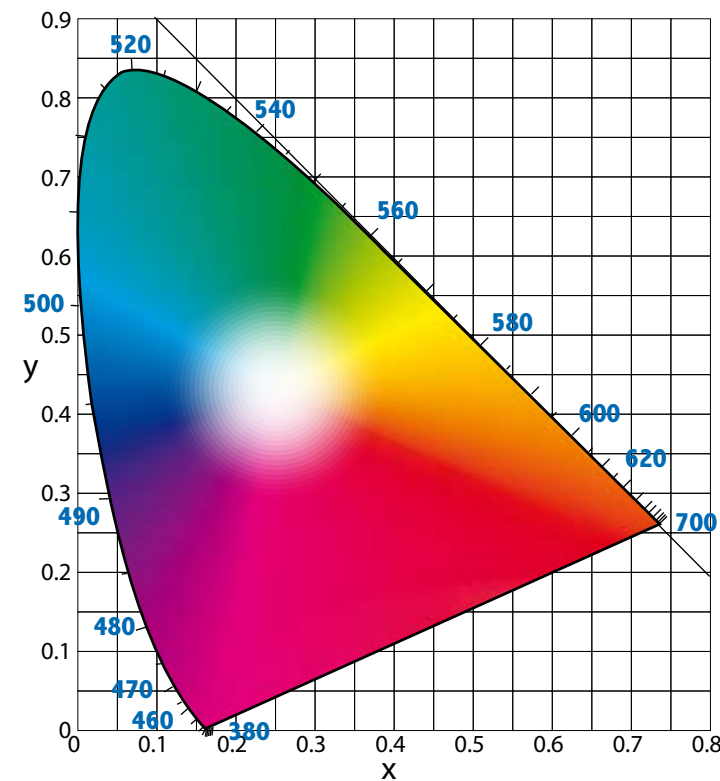
W sferze estetyki wielkim malarzom udawało się pokonywać ograniczenia palety i wyczarowywać efekty barwne, dzięki swojej niezwykłości stwarzające nieokreślony rodzaj barwnej nadrealności, dzięki której przekaz autora zyskiwał na sile i wyrazie. Historia sztuki odnotowuje wiele przykładów, kiedy takie przełamywanie chemicznych i optycznych ograniczeń osiągało wyżyny. Salvador Dali, mistrz nad mistrze we władaniu barwą, podziwiał kolorystykę dzieł Jana Vermeera, którego uważał za najgenialniejszego artystę w historii. Jeśli dysponującym ograniczoną paletą malarzom już wieki temu udawało się uzyskiwać niemal nieskończoną mnogość odcieni z dużo skromniejszego niż obecnie zasobu pigmentów, to czyż może nas dziwić gama tysięcy barw oferowanych dzisiaj praktycznie w każdym sklepie z farbami?

Co ciekawe, każda z tych barw jest dokładnie skatalogowana i powtarzalna. Tak dokładny opis jest możliwy dzięki kolorymetrii, czyli dziedzinie zajmującej się ilościowym opisem barw widzianych przez oko ludzkie. Kolorymetria łączy w sobie fizykę koloru z analizą procesów neurobiologicznych w oczach i mózgu. Mimo że barwy są wrażeniami zmysłowymi powstającymi w umyśle, ich ilościowy opis jest niezbędny nie tylko z uwagi na potrzeby badań naukowych oraz zastosowań barwników i pigmentów, ale także dla zrozumienia złożonych psychologicznych aspektów postrzegania barw.

Ilościowe ujmowanie barw umożliwia przede wszystkim ich reprezentacja fizyczna w postaci widm absorpcji i transmisji roztworów barwników, widm emisji źródeł światła czy widm odbicia światła od powierzchni.



Fot. Fotolia, Rys. Zuzanna Sandomska-Horosz



Rys. 6. Diagram chromatyczności CIE.

Przedstawianie barw w ten sposób nie uwzględnia jednak żadnych czynników związanych z widzeniem barwnym i dlatego w opisie barw znacznie częściej wykorzystuje się systemy oparte na odpowiedzi indukowanej w oku przez światło o różnej długości fali i natężeniu. Powszechne uznanie zyskał stworzony w roku 1931 system przestrzeni barw CIE XYZ skonstruowanej specjalnie z myślą o postrzeganiu barw przez oko ludzkie. CIE w tym skrócie jest francuską nazwą Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej (*Commission Internationale de l'Eclairage*), natomiast XYZ oznacza tzw. współrzędne trójchromatyczne opisujące pobudzenie trzech rodzajów receptorów wzrokowych człowieka znajdujących się w czopkach siatkówki i odpowiadające z grubsza zawartości barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej, potrzebnych do odtworzenia danej barwy.

Przestrzeń barw CIE XYZ wywodzi się z serii eksperymentów przeprowadzonych w końcu lat 20. niezależnie i różnymi metodami przez Davida Wrighta i Johna Guilda, które umożliwiły scharakteryzowanie przeciętnej (tj. uśrednionej po populacji) odpowiedzi ludzkiego oka na różne barwy. W tych doświadczeniach dużą grupę normalnie widzących osób poproszono o wskazanie, jaka barwa uzyskana w wyniku addytywnego mieszania trzech barw podstawowych, czerwonej, zielonej i niebieskiej, w różnych proporcjach odtwarza daną barwę spektralną (tj. monochromatyczną). Wyniki potwierdziły, że nasze oko jest słabym analizatorem barw, a ta sama barwa może być wizualnie odtworzona przez wiele różnych kombinacji barw: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Doświadczenia te umożliwiły ściśle określenie właściwości oka w postrzeganiu

Rys. 7. Piksele i subpiksele RGB tworzące ekran monitora ciekłokrystalicznego.





**Z lewej: druk w systemie CMYK w zbliżeniu. Z prawej: matryca CCD aparatu fotograficznego.**

➤ mieszanin barw i ustalenie tzw. obserwatora standardowego, którego widzenie barw matematycznie opisują funkcje kolorymetryczne, ściśle powiązane z czułością poszczególnych rodzajów receptorów wzrokowych. Ponieważ mamy w oku trzy rodzaje receptorów barwy, które są czułe w różnych zakresach widma, pełne przedstawienie postrzeganych barw wymaga trzech wymiarów. Dzięki możliwości rozdzielania jasności i nasycenia barwy, trójwymiarową przestrzeń barw da się sprowadzić do reprezentacji dwuwymiarowej. Na przykład, kolor biały jest kolorem jasnym, a szary uważa się za mniej jasną wersję bieli, oba kolory mają tę samą zawartość barw podstawowych, różnią się natomiast jasnością, co pozwala w przybliżonej analizie barw abstrahować od jasności.

Popularnym dwuwymiarowym ujęciem przestrzeni barw są tzw. trójkąty barw. Jednym z nich jest poglądowy diagram chromatyczności CIE, przedstawiający barwy w układzie współrzędnych  $xy$  będących funkcjami współrzędnych tróchromatycznych (rys. 6). Z tego układu można bezpośrednio odczytać ułamekową zawartość  $x$  (czerwona) i  $y$  (zielona) teoretycznych barw podstawowych CIE w dowolnej barwie. Udział barwy niebieskiej,  $z$ , jest dopełnieniem do jedności ( $z = 1 - x - y$ ). W ten sposób dowolną barwę charakteryzuje się za pomocą pary współrzędnych CIE ( $x, y$ ). Wszystkie możliwe barwy (dla danego poziomu jasności) znajdują się w obszarze ograniczonym linią barw widmowych (monochromatycznych, uzyskiwanych w rozszczepieniu światła białego) o największym nasyceniu. Podstawę trójkąta barw stanowi linia purpury, przedstawiająca barwy powstające w wyniku zmieszania czerwieni z błękitem. Centralnym punktem trójkąta jest teoretyczny punkt bieli (0,33, 0,33), w którym wszystkie trzy barwy mają jednakowy udział ( $x = y = z = 0,333$ ). Diagram chromatyczności CIE jest standardowo używany m.in. do oceny barwy (i bieli) źródeł światła, w tym także organicznych diod luminescencyjnych (OLED). Ze względu na wykorzystywanie fluorescencji i fosforescencji związków organicznych, widma emisji OLED-ów składają się z pasm emisji w różnych obszarach widma i ocena ich barwy wynikowej oraz jej zbliżenia do bieli ma kluczowe znaczenie dla zastosowań tych urządzeń.

Człowiek kocha kolorowy świat i dobrze się w nim czuje. Przez tysiąclecia dotychczasowej historii cywilizacji, nawet nie w pełni rozumiejąc podstawy zjawiska, zrobił (i poznał!) ogromnie dużo, aby ubarwić otoczenie. I może dziwić, że dopiero teraz wspięliśmy się do poziomu, na którym możemy swobodnie kształtować biel i barwę emiterów światła. Czy po jego osiągnięciu będziemy patrzeć na świat pełniej? Nie zależy to od źródeł światła, bo one są jedynie środkiem umożliwiającym rozświetlenie ciemności. To, czy w tym nowym świetle zobaczymy więcej, zależy tylko od nas. ❏

**dr hab. inż. Jerzy Karpiuk**

asystent w Instytucie Chemii Fizycznej PAN w Warszawie

Fot. iStockphoto.com, SPiE, East News

## filtr nie zadziałał? a dresik załóż



Skuteczny filtr antyspamowy  
i antywirus  
w poczcie WP zadziałają

**a-dresik.wp.pl**

## BARWA I WIDMO ŚWIATŁA

Emitowane przez źródło światła promieniowanie o długości fali w zakresie 400–450 nm widzimy jako światło fioletowe, 450–500 nm – jako niebieskie, 500–540 nm – zielone, 540–590 nm – żółte, 590–630 nm – pomarańczowe, 630–700 nm – czerwone. Inaczej jest, kiedy patrzymy na obiekt barwny oświetlony światłem białym. Fizycznie, nadawanie barwy wiąże się z dodawaniem barwnika lub pigmentu do kolorowanego obiektu, natomiast optycznie efekt barwienia polega na odejmowaniu koloru – eliminacji jednej lub więcej barw ze światła odbijanego poprzez jego pochłonięcie (czasem rozproszenie) przez dany obiekt. Czerwony samochód absorbuje światło zielone z zakresu 490–550 nm, dzięki czemu światło odbite odbieramy jako czerwone. Podobnie przedmioty pochłaniające światło w zakresie 400–430 nm są postrzegane jako żółte, 430–490 nm – jako pomarańczowe, 550–600 nm – jako fioletowe i 600–700 nm – jako niebieskie. Obiekty zielone absorbują światło w dwóch obszarach widma: 400–450 nm i 580–700 nm, i nie można stwierdzić, czy zielony kolor jest efektem obecności jednego barwnika z dwoma pasmami absorpcji, czy też mieszaniny barwnika niebieskiego z żółtym. Przedmiot odbijający całe padające nań promieniowanie widzialne jest postrzegany jako biały, jeśli natomiast dany przedmiot absorbuje całe padające nań światło – jest dla oka czarny. Szarość jest efektem absorpcji podobnej części promieniowania w całym zakresie widzialnym.