

Grzegorz Nowak*, Włodzimierz Mosorow*

Metoda recepturowania barw metalicznych na podstawie analizy danych widmowych koloru i informacji wizyjnej

1. Wprowadzenie w tematykę recepturowania barw

1.1. Wstęp

Kolorystyka produktów jest jednym z głównych elementów marketingowych, kreującym popyt i wpływającym na wielkość sprzedaży. Możliwość uzyskania dowolnego koloru produktu oraz zapewnienie jego powtarzalności w procesie produkcji jest poszukiwana w wielu gałęziach przemysłu, takich jak: przemysł samochodowy, farbiarski, tekstylny, kosmetyczny czy przemysł tworzyw sztucznych. Obecnie, uzyskiwanie i odtwarzanie (tzw. recepturowanie) kolorów zwykłych jest wykonywane za pomocą odpowiedniego sprzętu (kolorymetry, spektrofotometry) oraz dzięki komputerowemu przetwarzaniu danych. Do dziś jednak nie został opracowany skuteczny system recepturowania kolorów metalicznych. Ze względu na swoją popularność kolory metaliczne mają coraz większe zastosowanie w przemyśle. Cechą charakterystyczną kolorów metalicznych jest wpływ domieszek metalicznych na wizualne postrzeganie barwy. W wyniku odbicia światła przez opiółki aluminiowe, obserwowany kolor ulega zmianie i zależy od ilości domieszek metalicznych oraz ich wielkości i rozmieszczenia.

1.2. Kolory metaliczne

Kolory metaliczne stanowią przedmiot dużego zainteresowania producentów ze względu na ich znaczenie marketingowe, gdyż w powszechnej opinii symbolizują prestiż, elegancję, wysoką pozycję społeczną, klasę i smak [7]. Podczas gdy zwykły kolor utożsamiany bywa z przeciętnością, kolor metaliczny stał się atrybutem luksusu. Dotyczy to zwłaszcza przemysłu samochodowego, gdzie recepturowanie polega na odtwarzaniu koloru według katalogowego przepisu oryginalnego koloru, przy pominięciu efektu starzenia się

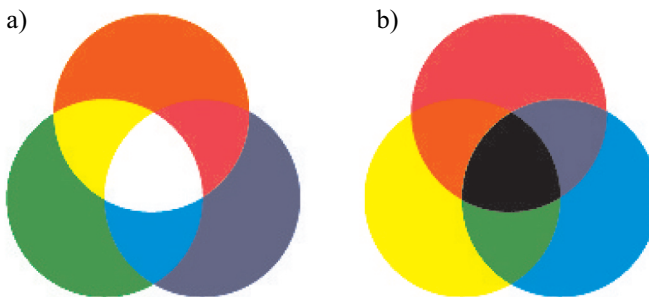
* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka

lakieru i uzależnia się jego wykonanie od dostępności oryginalnych składników. Ponieważ do dziś na świecie nie został opracowany skuteczny system recepturowania kolorów metalicznych, wszelkie rezultaty osiągnięte w tej dziedzinie będzie można wdrożyć w wielu gałęziach przemysłu, w których wykorzystuje się kolory metaliczne.

Wykorzystanie wyników badań nad recepturowaniem kolorów metalicznych możliwe będzie zarówno na etapie przygotowania produkcji konkretnego koloru („na zamówienie”), jak również w kontroli procesu produkcji poprzez pomiar odchyłek barwy na skutek takich czynników jak zmiana temperatury, zmiana jakości składników, dokładność mieszania itp. Ważnym warunkiem optymalnej kontroli jakości koloru są dokładne i powtarzalne wyniki. W przypadku przekroczenia dopuszczalnej tolerancji różnicy barwy, system może być wykorzystany do zmodyfikowania aktualnej receptury koloru w celu jego skorygowania. Ponieważ zwykle dany kolor można otrzymać na wiele sposobów, kolejnym zastosowaniem systemu recepturowania kolorów metalicznych może być jego wykorzystanie do optymalizacji kosztów produkcji, bądź też recepturowanie, polegające na poszukiwaniu jak najdokładniejszej receptury opartej na dostępnych składnikach, lub takich składnikach, które z pewnych względów należy wykorzystać w pierwszej kolejności.

1.3. Barwa i mieszanie barw

Ludzka zdolność rozpoznawania kolorów opiera się na komórkach receptorów siatkówki oka. Fotoreceptory dzielą się na trzy rodzaje: rozpoznające kolor niebieski, zielony i czerwony. Człowiek rozpoznaje kolory zawsze w ten sam sposób. Natomiast powstawanie kolorów (synteza) może być dwojakiego rodzaju. Różnice wynikają z tego, czy światło jest emitowane, czy też odbijane. Światło emitowane (np. w przypadku monitorów) podlega syntezie addytywnej (rys. 1a). Przy odbiciu światła barwna, np. malowana powierzchnia absorbuje część światła, a zredukowana, odbita jego część tworzy barwę, którą obserwujemy. W tym przypadku mamy do czynienia z syntezą subtraktywną (rys. 1b).

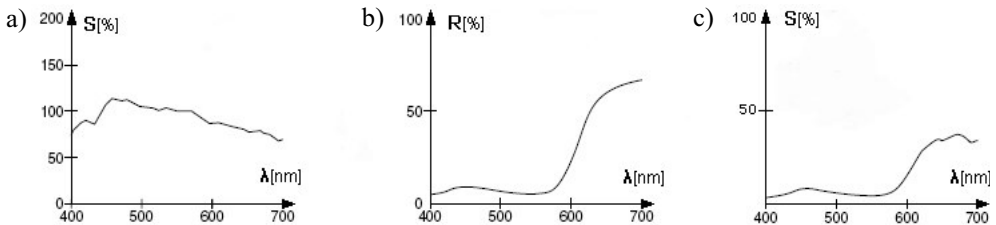


Rys. 1. Addytywne (a) i subtraktywne (b) mieszanie barw

Kolor badanej powierzchni określony jest przez skład widmowy promieniowania odbitego, inaczej mówiąc – przez kształt krzywej określającej współczynnik odbicia promieniowania widzialnego R od długości fali λ [6]. W przypadku barwników mamy do czynienia z substancjami pochłaniającymi promieniowanie o różnych barwach.

1.4. Oświetlenie

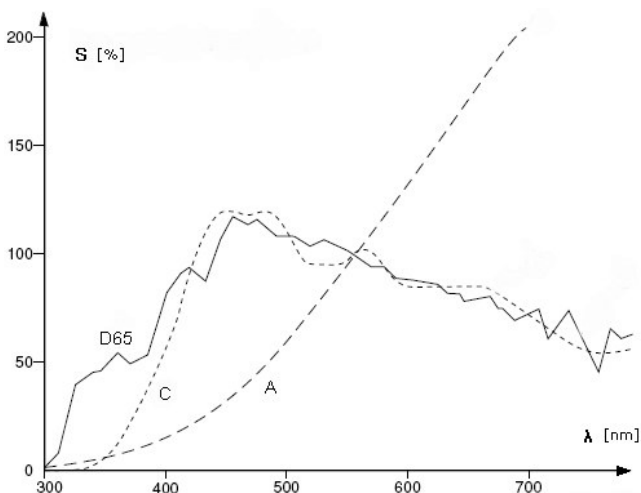
Jednak obserwowany kolor zależy również od użytego iluminantu. Przy zmianie oświetlenia skład promieniowania pochłanianego będzie taki sam, ale zmieni się skład promieniowania odbitego. Tak więc obserwowany kolor, czyli widmowy rozkład mocy $S(\lambda)$ światła odbitego (rys. 2c), jest produktem względnego widmowego rozkładu mocy $S(\lambda)$ światła iluminantu (rys. 2a) i krzywej emisji $R(\lambda)$ (rys. 2b).



Rys. 2. Obserwowany kolor i jego oświetlenie

Do pomiaru krzywej emisji $R(\lambda)$ używa się spektrofotometrów pozwalających na uzyskanie charakterystyki barwy z dokładnością do kilku nm przy użyciu kilku różnych standardowych oświetleń i kątów szerokości widzenia (zwykle 2° i 10°), co odpowiada tzw. „standardowemu obserwatorowi” i „dodatkowemu standardowemu obserwatorowi” [13]. Zastosowanie w pomiarze kilku standardowych oświetleń (iluminantów) pozwala na uzyskanie oceny zjawiska metamerii kolorów [6], polegającego na postrzeganej różnicy w barwie, w zależności od użytego iluminantu.

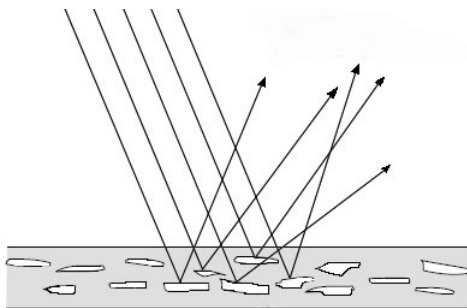
Rysunek 3 przedstawia charakterystyki względnych widmowych rozkładów mocy trzech typowych iluminantów: D65, C i A (są to odpowiednio: światło dzienne z promieniowaniem ultrafioletowym, światło dzienne bez promieniowanie ultrafioletowego, żarówka).



Rys. 3. Względny widmowy rozkład mocy $S(\lambda)$ trzech typowych rodzajów oświetlenia: D65, C oraz A

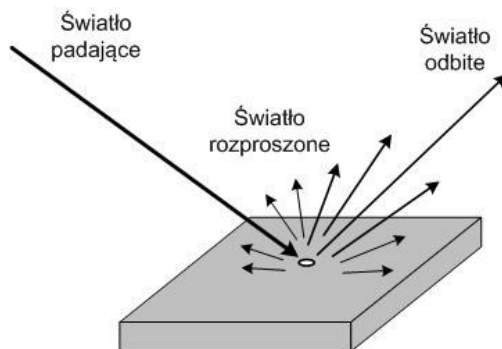
1.5. Odbicie światła od powierzchni o kolorach metalicznych

Przykładem szczególnym są kolory metaliczne. Uzyskiwane są one za pomocą pyłu metali, najczęściej glinu. Stosowane są także metalowe domieszki srebra, cynku, miedzi. Opilki metalu zachowują się jak miniaturowe lusterka, odbijając padające światło pod różnymi kątami (rys. 4).



Rys. 4. Odbicie światła od opilków metalu w warstwie barwnika metalicznego

Przy kącie patrzenia zbliżonym do kąta odbicia obserwowany jest jaśniejszy kolor; przy innym kącie obserwowany kolor jest ciemniejszy (rys. 5). Wrażenie barwy jest różne w zależności od kąta obserwacji. Mówimy, że kolory metaliczne wykazują tzw. metamerię geometryczną [6], polegającą na obserwowanej różnicy w barwie w zależności od kąta obserwacji. Krzywe emisji przy różnych kątach obserwacji różnią się od siebie. Dlatego do jednoznacznego scharakteryzowania barwy o metamerii geometrycznej stosuje się spektrofotometri wielokątowe.



Rys. 5. Światło rozproszone i odbite od powierzchni o kolorze metalicznym

1.6. Dotychczasowe osiągnięcia w recepturowaniu barw

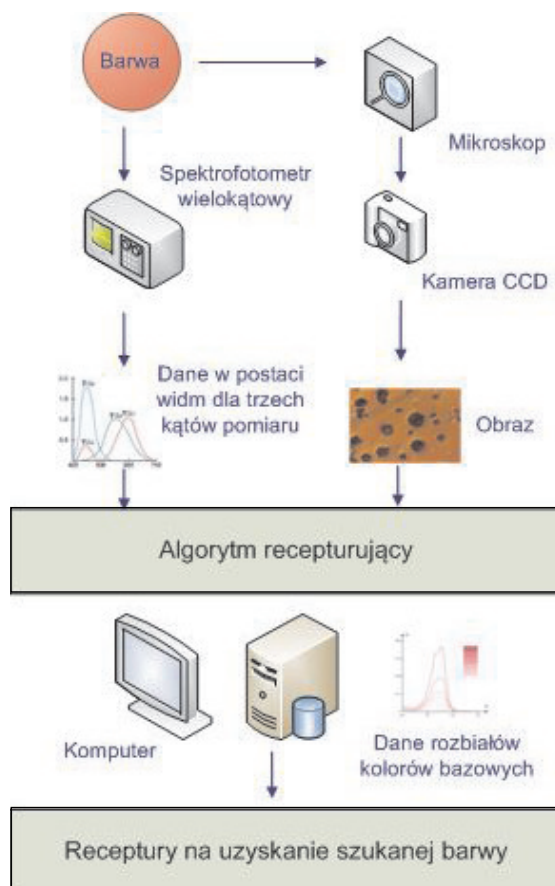
Różne aspekty technologiczne wymienionych zjawisk i procesów dotyczących barw i ich mieszania są znane i dostępne w literaturze [1, 2, 6]. Zaawansowane spektrofotome-

tryczne techniki pomiarowe pozwoliły na opracowanie programów recepturujących (np. Color iMatch firmy X-Rite lub Ciba® Colibri™ firmy Konica-Minolta). Jednak do dziś nie udało się opracować systemu recepturowania barw metalicznych.

Mimo iż problematyka kolorów metalicznych była wielokrotnie podejmowana [3–5, 7–9], to do dziś nie są znane skuteczne rozwiązania zagadnienia recepturowania barw metalicznych ani z polskiej literatury dotyczącej tego zagadnienia, ani z literatury światowej.

2. Metodyka badań

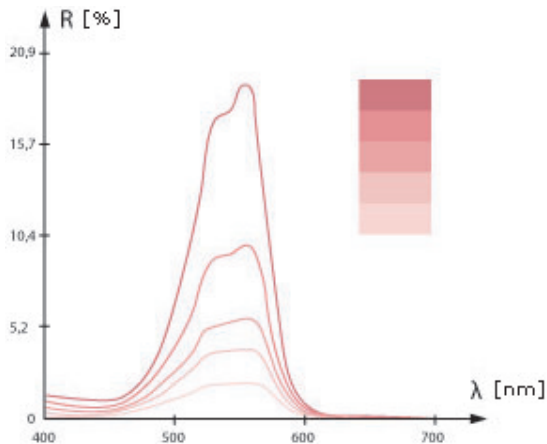
Do przeprowadzenia badań wykorzystane zostanie stanowisko badawcze (rys. 6), na które składać się będą następujące główne elementy: spektrofotometr wielokątowy, mikroskop przemysłowy, kamera CCD, komputer.



Rys. 6. Schemat stanowiska badawczego

Zadaniem spektrofotometru będzie dostarczanie spektralnych i kolorymetrycznych danych dla kilku (zwykle trzech) kątów pomiaru. Pomiar spektrofotometrem wielokątowym wykonuje się dla kątów aspekularnych, to jest nierównych kątowi odbicia promienia oświetlającego. Zmierzone wartości przesyłane będą do komputera poprzez port szeregowy RS-232. Mikroskop przemysłowy przeznaczony będzie do dostarczania powiększonych, ostrych obrazów próbek kolorów. Kamera CCD umożliwi akwizycję obrazów o wysokiej rozdzielczości pochodzących z mikroskopu. Komputer będzie służył do gromadzenia i przetwarzania pomiarów laboratoryjnych widm kolorów bazowych badanych próbek oraz obrazów z kamery CCD. Wykorzystany będzie również jako repozytorium bazy danych kolorów oraz ich rozbiatów (roztworów barwnika o różnych stężeniach). Wreszcie, komputer stanowić będzie platformę do tworzenia i testowania oprogramowania, weryfikacji algorytmów oraz prezentacji wyników prac.

Pierwszym etapem prac będzie opracowanie modelu numerycznego mieszania barw oraz algorytmu pozwalającego na uzyskanie jego jednoznacznego opisu matematycznego (receptury) dowolnego koloru w przestrzeni barw CIE $L^*a^*b^*$ [1] na podstawie określonej ilości kolorów bazowych i ich rozbiatów, dostępnych w postaci odpowiadającym im widm (rys. 7).



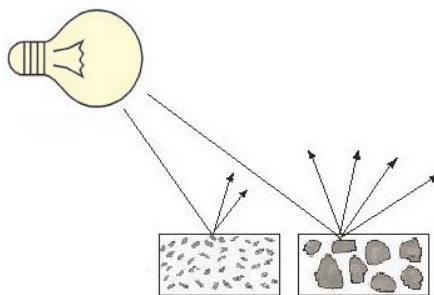
Rys. 7. Przykładowe krzywe remisji (odbicia) dla koloru bazowego i jego rozbiatów

Danymi wejściowymi powinny być w tym przypadku widmowe charakterystyki kolorów bazowych (ewentualnie ich rozbiatów i cieni) oraz wielokątowa charakterystyka widmowa koloru, jaki jest do otrzymania w wyniku zmieszania kolorów bazowych (wszystkich lub niektórych). Na tym etapie konieczne jest wykorzystanie odpowiedniej klasy spektrofotometru pozwalającego na uzyskanie wyników pomiaru próbek w postaci ich widma. Konieczne będzie tu zastosowanie spektrofotometru wielokątowego, gdyż efekt kolorystyczny przy pomiarze znacząco zależy od kąta pomiaru. Kolory metaliczne oprócz barwnika zawierają bowiem domieszki cząstek aluminium (lub innego metalu), które odbijają światło pod różnymi kątami, odpowiednio do ich ułożenia. W rezultacie, kolor obserwowany pod kątem odbicia kierunkowego metalicznych cząstek będzie się różnił od koloru ob-

serwowanego pod innym kątem. Oprócz spektrofotometru oraz wzorników kolorów katalogowych, do opracowania modelu konieczne będzie wykorzystanie próbek rzeczywistych barwników.

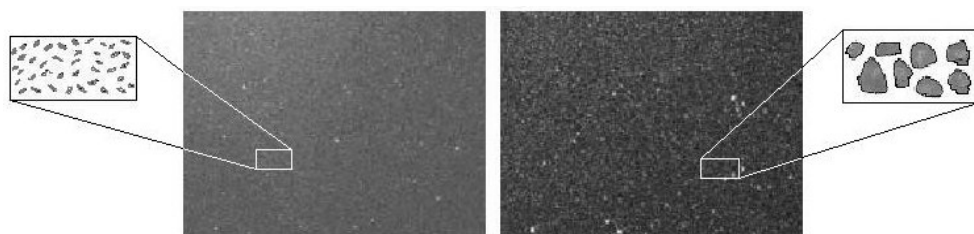
Wynikiem tego etapu prac powinny być: jedna lub kilka receptur na uzyskanie zadanego koloru z kolorów bazowych lub informacja, że danego koloru uzyskać nie można. W przypadku uzyskania jednej lub więcej receptur powinna być podana dokładność, z jaką kolor ten może zostać odwzorowany.

Celem drugiego etapu prac będzie określenie ilościowe składnika metalicznego użytego w badanej barwie. Efekt metaliczności koloru zależy bowiem od ilości i stopnia granulacji użytej domieszki metalicznej (rys. 8). Domieszki metalu są stosunkowo dobrze widoczne i wpływają na specyficzną teksturę koloru metalicznego.



Rys. 8. Schematyczne przedstawienie różnicy odbicia światła od powierzchni pokrytej kolorami metalicznymi o różnej granulacji

Do odpowiedniego recepturowania kolorów metalicznych, obok pomiaru koloru, dodatkowo wykorzystana będzie komputerowa analiza obrazu badanej próbki przy użyciu mikroskopu, kamery CCD, systemu rejestracji obrazu.



Rys. 9. Obrazy powierzchni metalicznych wykonane aparatem cyfrowym i schematyczne przedstawienie różnic granulacji domieszek

Analiza ta powinna dostarczyć informacji na temat gęstości i rozmiarów użytych domieszek metalicznych (rys. 9). Aby uzyskać taką informację, obraz z mikroskopu podlegać będzie przetwarzaniu za pomocą szeregu procedur, takich jak segmentacja wykonana na

podstawie analizy lokalnych cech obrazu (np. krawędzi i koloru) [10, 12] oraz zliczania ilości i wyznaczania parametrów kształtów powierzchni domieszek metalicznych. Parametry kształtu domieszek zostaną ocenione na podstawie topologii obszarów opublikowanych w książce [11]. Zdobyta w ten sposób informacja statystyczna na temat ilości i rozmiarach użytych domieszek metalicznych pozwoli uzupełnić informacje potrzebne do uzyskania receptury zadanego koloru. Następnym etapem prac teoretycznych będzie skonstruowanie prototypowego stanowiska oraz wykonanie odpowiedniego oprogramowania pozwalającego na wprowadzanie i gromadzenie (w bazie danych) parametrów składników (kolorów bazowych, domieszek metalicznych), pomiar zadanego koloru oraz gromadzenie i prezentowanie wyników.

3. Podsumowanie

W zaproponowanym podejściu do recepturowania kolorów metalicznych zamierzamy wykorzystać pomiar barwy za pomocą spektrofotometru wielokątowego, gdyż przy pomiarze koloru metalicznego wynik zależy od kąta obserwacji w odniesieniu do kąta padania światła. Pomiar ten będzie uzupełniony analizą obrazu mikroskopowego badanego koloru metalicznego. Analiza obrazu ma pozwolić na określenie stopnia granulacji i ilości użytej domieszki cząsteczek metalu.

Wprowadzenie procesu analizy obrazów uzyskiwanych za pomocą mikroskopu do procesu pomiaru i doboru barw metalicznych zasadniczo poszerzy i uzupełni stan wiedzy w dziedzinie recepturowania barw. Zaproponowana metoda pozwoli na recepturowanie barw metalicznych, a jej zastosowanie w praktyce zredukuje koszty otrzymywania zadanego koloru poprzez dobór odpowiedniej receptury biorącej pod uwagę cenę i dostępność kolorów bazowych. Dodatkowo metoda może znaleźć zastosowanie do oceny i korekty jakości barwy w procesie produkcji artykułów, w którym wykorzystuje się kolory metaliczne.

Literatura

- [1] Fairchild M.D., *Color and Image Appearance Models*. Color Appearance Models, John Wiley and Sons, ISBN 0470012161, 2005, 340.
- [2] Walowit E., Cornelius J. McCarthy, Bems R.S., *Spectrophotometric color matching based on two-constant Kubelka-Munk theory*. Color Research & Application, vol. 13, 1988, 358–362.
- [3] Rosler G., *Multigeometry color measurement of effect surfaces – results, possibilities and limitations*. Farbe, vol. 37, 1990, 111–121.
- [4] Saris H.J.A., Gottenbos R.J.B., van Houwelingen H., *Correlation between visual and instrumental colour differences of metallic paint films*. Color Research & Application, vol. 15, 1990, 200–205.
- [5] Davidson H.R., *Instrument matching and control of metalized colors*. Color Engineering, vol. 3, 1965, 22–32.
- [6] Mielicki J., *Zarys wiadomości o barwie*. Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź, 1997.
- [7] Bridgeman T., *The reflectance of metallic paints*. Mondial Couleur 85, Proc. 5th Congress International Colour Association, Monte Carlo, 1985.

-
- [8] Besold R., *Metallic effect – characterization, parameter and methods for instrumentally determination*. Farbe, 37, 1990, 79–85.
 - [9] Hofmeister F., *How reflectance measurements of interference and metallic pigments as well as of mixtures with absorption colourants depend on different measuring angles*. Color 89, Proc. 6th Session of the International Color Association, Buenos Aires, Argentina, 1989, II, 50–53.
 - [10] Duda R., Hart P., Stork D.G., *Pattern classification*. Wiley-Interscience Publication, New York, 2001.
 - [11] Maragos P., Schafer R.W., Akmal M., *Mathematical Morphology and Its Applications to Image and Signal Processing*. Kluwer Academic Publ., Boston, MA, 1996.
 - [12] Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997.
 - [13] *International Congress on Illumination*, 1931. Proceedings of the International Illumination Congress, Cambridge, Cambridge University Press, 1931.