

Bogumił ROLEK

Katowice

Wybrane zagadnienia wierności reprodukcji fotograficznej

Definicji fotografii jest bardzo dużo, zależnie od tego, na jakich jej elementach się skupiamy. Według *Małego słownika języka polskiego* to:

- „technika tworzenia trwałych obrazów za pomocą aparatu fotograficznego, przy wykorzystaniu procesów fotochemicznych,
- fotograficzny obraz przedmiotu”¹.

Źródła internetowe: *Encyklopedia fotografii* i *Encyklopedia PWN* precyzują kolejno, że jest to: „zbiór wielu różnych technik, których celem jest zarejestrowanie trwałego, pojedynczego obrazu za pomocą światła. Potoczne znaczenie zakłada wykorzystanie układu optycznego, choć nie jest to konieczne (fotografia otworkowa, rayografia)”², lub: „otrzymywanie trwałych obrazów na powierzchniach pokrytych substancją światłoczułą (promienioczułą); również gotowy obraz fot. pozytywowany na podłożu nieprzezroczystym. Obraz utajony może być wytworzony przez promieniowanie widzialne, rentgenowskie, podczerwone, nadfioletowe, promieniowanie gamma i in. Trwały obraz widzialny utworzony z ziaren metalicznego srebra lub barwników otrzymuje się przez poddanie naświetlonej emulsji obróbce fotograficznej”³.

Samych tradycyjnych pojęć fotografii szerzej omawianych w opracowaniach teoretycznych jest wiele. Np. wg Stefana Wojneckiego jest to: „odbicie rzeczywistości, ślad rzeczywistości, zespół znaków, obraz pojęcia, zasłona oraz model rzeczywistości”⁴.

¹ *Mały słownik języka polskiego PWN*, Warszawa 1969.

² <http://www.encyklopedia-fotografii.edu.pl>, [data dostępu: 11.05.2010].

³ <http://encyklopedia.pwn.pl/lista.php?co=fotografia>, [data dostępu: 11.05.2010].

⁴ Wojnecki S., *Moja teoria fotografii*, Poznań 1999, cyt.za: http://fotografia.asp.poznan.pl/info/Moja_teoria_fotografii_2010.pdf, [data dostępu: 11.05.2010].

W literaturze przedmiotu często funkcjonują określenia fotografii uściślające jej charakter zależnie od zakresu podmiotu (obiekty fotografowanego) i celu lub warsztatu techniczno-technologicznego, np.: fotografia artystyczna, rozumiana jako samodzielne dzieło sztuki, fotografia subiektywna jako nurt w fotografii europejskiej i światowej, fotografia astronomiczna, aerofotografia, fotografia podwodna, fotografia portretowa, fotograficzne techniki specjalne, fotografia otworkowa, fotografia społeczna, ślubna, rodzinna, fotografia reklamowa, fotomontaż, fotografia historyczna itp.

W innym ujęciu, np. w eseju *Continuum fotografii*⁵, rozważana jest natura obrazu fotograficznego: fotografia jako prawda, fotografia jako reprodukcja, fotografia jako próba potwierdzenia rzeczywistości, fotografia jako przeszłość – emanacja rzeczywistości minionej, fotografia jako pamięć – rzeczywistość i fikcja, fotografia jako dwuwymiarowa fikcja; a także udział w niej elementów obiektywizmu i subiektywizmu, realizmu i kreacjonizmu.

W tych definicjach porusza się dwa aspekty fotografii – technikę i rejestrację rzeczywistości w celu przywołania wrażeń z określoną dokładnością, a także z uwzględnieniem możliwości ingerencji w reprodukowany obraz.

Od strony techniczno-technologicznej współcześnie powszechnie są używane określenia fotografii: 1. **fotografia tradycyjna** – to wszystkie ww. formy i techniki fotograficzne, w których nośnikiem obrazu są chemiczne materiały światłoczułe oparte o światłoczułość soli srebrnych (filmy, błony, płyty czy papiery itp. Do fotografii tradycyjnej zaliczają się też szlachetne techniki fotograficzne wykorzystujące światłoczułe właściwości chromianów; 2. **fotografia cyfrowa**⁶ – wg encyklopedii PWN „fotografia cyfrowa, metoda rejestracji obrazu polegająca na tym, że jest on rzutowany (w cyfrowym aparacie fot.) nie na błonę fot., lecz na fotoelektryczny element światłoczuły (element CCD); 3. **fotografia analogowa** – często nazwa stosowana zamiennie z fotografią tradycyjną opartą na materiałach światłoczułych, ale spotyka się też inne definiowanie tego typu fotografii, jako procesu reprodukcji obrazu z pomocą urządzeń elektronicznych analogowych np. fotopowielacze czy widikony (obraz powstający na sensorach w fotografii cyfrowej ma również charakter analogowy i dopiero następnie jest przetwarzany na formę cyfrową). Przez „fotografię analogową” należałoby tu rozumieć obraz powstały z wykorzystaniem zjawiska fotoelektrycznego, ale z zapisem niecyfrowym, analogowym. Wobec marginalnego występowania sprzętu do zapisu analogowego nazwa ta, choć niepoprawna merytorycznie (nie pierwszy to przypadek w fotografii: np. film, emulsja...), utożsamiana jest z fotografią tradycyjną; 4. **fotografia hybrydowa** – mieszane – technika tradycyjna

⁵ K. Candrowicz, *Continuum fotografii*, Fundacja Edukacji Wizualnej, cyt. za: <http://www.few.pl/continuumfotografii.doc>, [data dostępu: 11.05.2010].

⁶ Różnica pomiędzy fotografią cyfrową, a tradycyjną sprowadza się zasadniczo do sposobu utrwalenia, przetwarzania i odtwarzania obrazu, gdyż cała optyka właściwie nie uległa znacznym modyfikacjom w stosunku do fotografii tradycyjnej.

i cyfrowa, gdzie część procesu reprodukcji prowadzona jest na materiałach i technologią tradycyjną⁷; 5. **fotografia komputerowa** – (fotorealistyczny obraz z komputera)⁸.

Ten skromny i niepełny przegląd definicji, określeń, ujęć i sposobów pojmowania fotografii świadczy zarówno o trudnościach interpretacyjnych, jak i o rozległości obszaru działalności ludzkiej, jaki zajmuje fotografia. Wszystkie te rodzaje i odmiany fotografii mają ustalone praktyką potrzeby sprzętowe, materiałowe i technologiczne dobrane lub tworzone pod określone kryteria jakościowe obrazu finalnego.

Potocznie pod pojęciem fotografii najczęściej rozumie się kopię obrazu jakiegoś obiektu (często na papierze, ale również w postaci obrazu wyświetlanego na monitorze lub rzutowanego z projektora na ekran), zazwyczaj oglądaną w oderwaniu od tegoż obiektu.

Już dawno fotografia obok celu, jakim było utrwalanie oglądanych obiektów rzeczywistych rozwinęła się w innych kierunkach, bardziej malarskich, jak też tworzących nowe wartości.

Przez rzeczywistość rozumiemy świat oddziałujący na nas, wywołujący w nas określone wrażenia, będące efektem kontaktu z tą rzeczywistością. **Rzeczywistość** rozumiana konwencjonalnie jest trójwymiarowa o zwykle dużej rozpiętości tonalnej, o określonym rozkładzie światła, cieni i barw, czasem z obiektami ruchomymi w czasie i przestrzeni. Często istniejąca rzeczywistość materialna bywa kreowana w określonym celu.

Obecnie w literaturze dotyczącej obrazowania funkcjonują również pojęcia rzeczywistości wirtualnej oraz rzeczywistości rozszerzonej. **Wirtualna rzeczywistość** (ang. *Virtual Reality* – skrótowo VR) jest definiowana, jako doznania wzrokowe, słuchowe i dotykowe generowane za pomocą skomputeryzowanego sprzętu audiowizualnego i specjalnego oprogramowania⁹.

Rozszerzona rzeczywistość (ang. *Augmented Reality* – skrótowo AR) jest technologią o początkach sięgających lat 90. XX wieku, która pozwala na łączenie obrazu z kamery z wygenerowanymi komputerowo obiektami, dzięki czemu użytkownik doświadcza wizualnie połączenia świata rzeczywistego i wirtualnego, przy czym wirtualna rzeczywistość jest interaktywna w czasie rzeczywistym i jest przestrzenią trójwymiarową (3D). W literaturze spotyka się też nazwę *mixed reality*, czyli rzeczywistość mieszana.

Interakcja wyżej wymienionych rzeczywistości i obserwatora – odbiorcy tworzy **rzeczywistość postrzeganą**. Według słownika postrzegać to „uświadomić sobie za pomocą zmysłów przedmioty, zjawiska otaczającego świata; zauważyć, zaobserwować”. Spostrzegać zaś to: „wyodrębnić co wzrokiem z ota-

⁷ P. Nowak, M. Nowak, *Fotografia tradycyjna, hybrydowa i cyfrowa*, wykład wygłoszony w czasie sesji naukowo-technicznej „Polfoto 2000”, Międzyzdroje 7.4.2000 r.

⁸ Wojnecki S., *Wprowadzenie do teorii fotografii*, Poznań 2001.

⁹ <http://encyklopedia.pwn.pl>, [data dostępu: 11.05.2010].

czającego świata, zwrócić uwagę na kogo lub co; zdać sobie z czego sprawę, uświadomić sobie co”¹⁰. Często te dwa pojęcia są traktowane jako synonimy.

Stosowane dotychczas powyższe pojęcia dotyczące fotografii i rzeczywistości ulegają z biegiem czasu rozszerzeniu i należałoby się zastanowić nad zasadnością kryteriów oceny zarówno klasyfikowania ich do określonej grupy, jak i kryteriów poprawności zawartości treściowej czy poprawności technicznej, a także stopnia ingerencji w tworzony obraz. Współczesne środki obrazowania dostarczają w tym zakresie dość szerokie możliwości techniczne i umożliwiają prawie dowolne przekształcanie tworzonego obrazu. Dostępne opracowania słownikowe w zakresie fotografii¹¹ obejmują okres do II wojny światowej, a nowsze próby np. słowniki¹² i nie ujmują tych zagadnień.

Wszystkie wyżej wspomniane rodzaje rzeczywistości można utrwalić i powielić w postaci obrazu, otrzymanego nie zawsze z użyciem aparatu fotograficznego.

Czy jednak fotografia rzeczywistości może być bezwzględnie obiektywna? Czy odbiorca – widz, obserwator jest biernym odbiorcą wrażeń, wyciskanych na nim przez obiekt, czyli przez rzeczywistość? Jednak jak różna jest ta sama rzeczywistość postrzegana przez każdego z nas, szczególnie gdy nałożyć na postrzeganie mentalne filtry. W jak poważny sposób na postrzeganie rzeczywistości wpływa nastawienie, wiedza i doświadczenie życiowe, założone cele, użyty przy tym sprzęt. Nie do pominięcia jest też wpływ czynników zaburzających lub zmieniających sposób postrzegania rzeczywistości (np. alkohol, narkotyki itp.).

Na prosto postawione ogólne pytanie: czy można obiektywnie wiernie sfotografować rzeczywistość (i zreprodukować jej obraz), odpowiedź ogólna musi być przecząca. Odpowiedź twierdząca może mieć miejsce w przypadkach szczególnych, ściśle określonych. Trzeba jednak dokładnie zdefiniować obiekt zdjęciowy (choć w przypadku rzeczywistości wirtualnej jest to trudne do zdefiniowania), użyty system reprodukcyjny oraz odbiorcę i cel, jaki przyświeca całemu przedsięwzięciu. Trudno np. oceniać barwy obrazów obiektów rejestrowanych z użyciem promieniowania niewidzialnego (RTG, UV, IR). W takim razie nasuwa się pytanie, na ile w ogóle możliwa jest bezwzględna fotograficzna wierność reprodukcji rzeczywistości i czy jest bezwzględnie konieczna.

Fotograficzny obraz rzeczywistości traci jeden lub dwa wymiary i z konieczności, często rozpiętość tonalną. Dodatkowo przy rejestracji obiektu lub odtwarzaniu obrazów wnoszą swój udział zniekształcenia powodowane przez obiektywy, film lub matrycę aparatu cyfrowego, obróbkę chemiczną lub programami graficznymi, zniekształcenia przy powiększaniu czy wykonywaniu wydruków, ale również poprzez świadomą lub nieświadomą ingerencję fotogra-

¹⁰ *Mały słownik języka polskiego PWN*, Warszawa 1969.

¹¹ Np. A. Żakowicz, J. Piwowarski, *Słownik technik i tendencji stylistycznych stosowanych w polskiej fotografii artystycznej przed 1939 r.*, WSP, Częstochowa 2001.

¹² Patrz: http://poczciarzu/slowniki/slownik_fotograficzny, [data dostępu: 11.05.2010], <http://hubertburzawa.wordpress.com/fotografia/slownik-fotograficzny>, [data dostępu: 11.05.2010]

fującego, sposób prezentowania obrazu, różnice świadomości i stanu emocjonalnego autora i odbiorcy. Reprodukcję fotograficzną można schematycznie podzielić na kilka etapów przedstawionych na rys.1.

Wierność reprodukcji to zgodność etapów percepcji 3 z percepcjami 1 i 2. Każdy z podanych wyżej etapów i mających w nich udział elementów ma na to znaczący wpływ.

Percepcja 1 to własności światła ekspozycyjnego, jego poziom i rozkład w polu percepcji, własności odbiorcy – autora rejestrującego obraz, warunki odbioru.

Percepcja 2 to też własności odbiorcy – autora tworzącego obraz, a także własności sprzętu, na którym tworzony jest oceniany obiekt wirtualny – dynamika obrazu, temperatura barwowa oraz warunki odbioru.

Etap rejestracji obejmuje własności zastosowanego sprzętu, materiałów zarówno tradycyjnych jak i cyfrowych. W przypadku fotografii cyfrowej na tym etapie często ma miejsce również przetwarzanie obrazu¹³: narzucenie pewnych standardów barwnych i jasności oraz określenie przeznaczenia – celu danego obrazu (kadrowanie) możliwości urządzeń odtwarzających, formatu zapisu.

Wytworzenie obrazu materialnego na podłożu przezroczystym lub transparentnym to w fotografii tradycyjnej dobór emulsji i podłoża, etap kopiowania (kadrowanie, powiększanie), obróbki chemicznej, retusz i operacje dodatkowe – laminowanie, oprawa itp. W fotografii cyfrowej etap ten obejmuje wydruk na wybranym rodzaju papieru i podłoża oraz drukarce lub naświetlenie w naświetlarce na materiałach tradycyjnych (fotografia hybrydowa) oraz retusz i operacje dodatkowe jw.

Etap wyświetlenia obrazu w fotografii tradycyjnej i hybrydowej to rzutowanie obrazu materialnego (przezroczce) na ekran z wykorzystaniem rzutnika, zaś w fotografii cyfrowej to wyświetlenie obrazu z pliku na monitorach CRT, LCD na ekranach z projektorów LCD, DLP lub wyświetlaczach wielkoformatowych LED (telebimy).

Percepcja 3 to własności odbiorcy, a także warunki odbioru – miejsce, poziom oświetlenia zakłócającego odbiór (wpływ na dynamikę odbioru obrazu), warunki fizyczne odbioru wrażeń.

Od strony technicznej rzeczywistość może być określona poprzez następujące cechy:

- przestrzenność (trójwymiarowość) lub jej brak (dwuwymiarowość),
- rozkład (zmiennność) luminancji i barw w polu widzenia,
- zmiennność ww. cech w czasie.

Rejestracją zmienności obrazu w czasie i odtwarzaniem obrazów dających wrażenie ruchu zajmują się takie media jak film i telewizja, chociaż próby odwzorowania tej zmienności na obrazach statycznych podejmowano wielokrotnie, poprzez rozmazanie obiektów ruchomych w obrazie lub w postaci nałożonych

¹³ Przetwarzanie w fotografii tradycyjnej to obróbka chemiczna oraz inne procesy dodatkowe.

na siebie serii zdjęć statycznych, w chronofotografii, ale też w solarografii (swe-go rodzaju kompresja czasu) oraz poprzez zamianę czasu w abstrakcję, rozwarstwienie np. w wystawie *Paralaksa Czasu*¹⁴.

Fotografia jest domeną obrazów nieruchomych.

Obiekty przestrzenne rejestrowane z użyciem aparatów z jednym obiektywem dają w efekcie tradycyjne obrazy fotograficzne na płaskim podłożu, a więc dwuwymiarowe. Trzeci wymiar odwzorowywany jest w postaci perspektywy, zaś czas zostaje „zamrożony”.

Obraz rzeczywistości odbierany okiem podczas obserwacji danej rzeczywistości rzadko jest równocześnie porównywany z zarejestrowanym i odtworzonym obrazem tej rzeczywistości. Najczęściej te dwa procesy są rozdzielone czasowo i/lub dokonywane przy zmienionych warunkach obserwacji. Niedoskonałości systemów reprodukcji często uniemożliwiają równoczesne przeprowadzenie tych procesów, a także wprowadzają deformację odtwarzanego obrazu rzeczywistości. Często brak jest możliwości lub celowości obiektywnej oceny bezwzględnie poprawnej reprodukcji obrazu rzeczywistości. Stąd często odwołujemy się świadomie lub podświadomie do kształtów i barw pamięciowych i do nich porównujemy oceniane obrazy.

Podczas działania oka i tak ograniczana jest ilość przetwarzanych informacji (ok. 90%), ale mimo to poprzez procesy interpretacyjne mózgu, uzupełniane przez obrazy z banku pamięci wzrokowej, odbierane obrazy są w miarę ciągłe, spójne, w czasie rzeczywistym¹⁵. Zarejestrowane obrazy są zapisywane w pamięciowych obszarach mózgu, lecz dokładność pamiętania ich drobnych szczegółów po jednorazowym obejrzeniu obiektu jest niezbyt duża i spada z upływem czasu. Nie można wrócić pamięcią po latach do bardzo szczegółowych obrazów obiektów kiedyś widzianych jednorazowo (może są nieliczne wyjątki). Przy rozważaniach odnośnie percepcji obrazów należy pamiętać, że percepcja barw oraz czułość i rozdzielczość widzenia bywają osobnicze, oraz że zawsze zmieniają się wraz z wiekiem¹⁶.

Rozdzielczość oka nie jest stała, ale w plamce żółtej wynosi ok. 50–70 linii/mm (ok. 1' kątowna)¹⁷. Oko jest w stanie rozróżnić dwa elementy, o ile odległość między nimi jest większa niż 0,07 mm i obserwowane są z odległości około 25 cm (właśnie 1' kątowna), ale zależy to od kontrastu luminancji lub barw między nimi. Ponieważ jednak przy procesie percepcji oko dokonuje obserwacji dynamicznie, stale wykonując ruchy i omiatając cały oglądany obraz, reprodukowane obrazy powinny zapewnić przynajmniej taką rozdzielczość na całej powierzchni w danych warunkach obserwacji.

¹⁴ *Paralaksa Czasu*, Galeria FF, Łódź 2007.

¹⁵ J. Młodkowski, *Aktywność wizualna człowieka*, PWN, Warszawa 1998.

¹⁶ Z. Turlej, *Czynnik wieku człowieka w percepcji barwy*, [w:] *Materiały z VII Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego KSK*, Kielce 2005.

¹⁷ J. Mielicki, *Zarys wiadomości o barwie*, Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź 1997.

W rejestracji obrazu w fotografii tradycyjnej czy za pomocą aparatów cyfrowych należałoby oczekiwać odtworzenia podobnej skali dynamiki gęstości i wierności parametrów obrazu (w odniesieniu do możliwości człowieka). Dlatego też należy dążyć do tego, by zarejestrować obraz z taką dokładnością, by po powiększeniu obrazu do rozmiaru docelowego oglądanego z zakładanej odległości zapewnić taką dokładność odwzorowania.

Obraz rzeczywistości odbierany przez oko, mimo wszystkich wad, jakie posiada ten aparat, zawiera bardzo dużo informacji, często dużo więcej, niż rejestrują systemy reprodukcyjne stworzone przez człowieka. I tak na przykład dynamika luminancji obrazu odbierana jednocześnie przez oko przekracza 4 jednostki logarytmiczne o podstawie 10 (ponad 30 000 : 1) – współczesne systemy reprodukcyjne dopiero zbliżają się do tej granicy, a w niektórych, np. tradycyjnej lub cyfrowej fotografii na papierze, nie są w stanie jej osiągnąć (pełny zakres dynamiki widzenia jest większy, ale ma miejsce po procesach adaptacji). Percepcja dynamiki luminancji obrazu nie jest liniowa, a nieliniowość ta jest szczególnie zauważalna w najjaśniejszych i najciemniejszych partiach obrazu. W skrajnych przypadkach dochodzi do utraty szczegółów luminancji, a więc części treści w tych partiach obrazu.

Szumy występujące w oku w procesie widzenia są eliminowane w procesie obróbki sygnałów w sieci neuronowej, jaką tworzy siatkówka, połączenia neuronowe toru wzrokowego i mózgu. Jednak dzięki ruchom oka i mechanizmom antagonistycznym sieci neuronowej oka, oko łatwo dostrzega na całej powierzchni obrazu niejednorodności przekraczające jego zdolność rozdzielczą.

Wzrok człowieka odbiera wrażenia barwne, luminancję światła, oraz ruch poprzez odbiór obrazu tego samego obiektu przez dwa odbiorniki – wrażenia przestrzenne.

Odbiór wizualny obrazu tego samego obiektu zawsze nosi cechy subiektywizmu (już choćby spowodowane osobniczymi różnicami anatomicznymi oka czy wpływu na ocenę warunków odbioru) i to samo odnosi się do oceny jakości obrazu reprodukowanego.

Z tego też powodu, na ile jest to możliwe, dąży się do wprowadzenia obiektywnych miar ocen jakości obrazu skorelowanych ze średnią oceną subiektywną. Daje to możliwość ilościowych ocen różnic parametrów jakości ocenianych materiałów. W celu ustalenia płaszczyzny odniesienia dla kryteriów jakościowych obrazów wizualnych przydatne jest określenie zakresu możliwości odbioru i interpretacji wrażeń wizualnych przez człowieka.

Na jakość reprodukcji obrazu dwuwymiarowego składają się z cztery elementy¹⁸:

1. jakość odwzorowania tonów,

¹⁸ F.S. Frey, J.M. Reilly, *Digital Imaging for Photographic Collection*, Rochester Institute, New York 1999.

2. jakość odwzorowania barw,
3. jakość odwzorowania detali (form, konturów),
4. ilość szumu (zakłócenia, ziarnistość) w obrazie.

Wg Włodzimierza Daszewskiego¹⁹, ocenę jakości obrazu możemy dokonać w sposób:

- subiektywny – ocena wizualna za pomocą cech psychometrycznych²⁰,
- obiektywny – za pomocą fizycznych pomiarów cech obrazu powiązanych z tworzeniem określonych wrażeń.

Jakość odwzorowania tonów obejmuje elementy:

- liniowość odwzorowania zgodną z charakterystyką widzenia,
- zakres tonalny,
- równomierność odtworzenia tonów na większych płaszczyznach.

Liniowość odwzorowania to wizualnie równomierność, płynność, gładkość zmian gęstości optycznej obrazu, bez efektów izohelii lub tzw. pasmowania, z zachowaniem proporcjonalności tych zmian gęstości w obrazie pozytywowym w przedziale rzędu 0,5–2 jednostek $\log_{10}$. Zwykle opisuje się jakość odwzorowania poprzez krzywe charakterystyczne materiałów, sprzętu oraz wielkości charakteryzujące te krzywe (gradienty, minimalne i maksymalne gęstości optyczne obrazu, użyteczną skalę naświetleń itp.). Jakość odwzorowania tonów to także równomierność odtworzenia szarości lub jednolitych barw na dużych płaszczyznach – brak fluktuacji gęstości optycznej.

Zakres tonalny (ang. *Dynamic Range* – DR) najczęściej rozważany jest jako stosunek jasności najjaśniejszych elementów obrazu do najciemniejszych. Jest on ograniczany z jednej strony przez możliwości urządzenia rejestrującego obraz (np. materiał światłoczuły, jego rodzaj i obróbka, matryca aparatu cyfrowego, kamery, skanera, format zapisywania obrazu), a z drugiej przez możliwości urządzenia odtwarzającego obraz (system wyświetlający, system powielania). Bardzo często jest on określany przy pomocy wielkości EV (poprawniej: E_V – ang. *Exposure Value*) – jednostki miary stosowanej w fotografii²¹.

Ludzkie oko dostrzega równocześnie kontrasty rzędu 30 000 :1 (~ 15 EV), zaś wartości kontrastów luminancji spotykane w rzeczywistych warunkach sięgają rzędu 100 000 :1 (~ 17 EV) i więcej. Możliwości rejestracyjne tradycyjnych materiałów fotograficznych (użyteczna skala naświetleń) są przeciętnie 9–10 EV dla negatywów barwnych i ok. 5–6 EV dla materiałów odwracalnych. Najnowsze, na razie nieliczne, tradycyjne materiały negatywowe cz.-b. i barwne mają

¹⁹ W. Daszewski, *Wybrane zagadnienia digitalizacji archiwaliów*, [w:] *Od informacji naukowej do technologii społeczeństwa wiedzy*, Wydawnictwo Stowarzyszenia Bibliotekarzy Polskich, Warszawa 2005.

²⁰ Szerzej: B. Rolek, *Wizualna ocena obrazów fotograficznych*, [w:] *Materiały sesji naukowo-technicznej „Polfoto 2001”*, Międzyzdroje 2001.

²¹ S.F. Ray, *Camera Exposure Determination*, [w:] *The Manual of Photography: Photographic and Digital Imaging*, 9th ed., Focal Press, Oxford 2000.

użyteczną skalę naświetleń do ok. 13 EV. Matryce przeciętnych cyfrowych aparatów fotograficznych są w stanie zarejestrować kontrasty rzędu $\sim 5\text{--}8$ EV, zaś aparatów wysokiej klasy rzędu 11–13 EV.

Skanery charakteryzowane są obok rodzaju skanowanych materiałów, rozdzielczości i rozmiarów powierzchni skanowania poprzez kontrasty – dynamikę skanowania (gęstość maksymalną – gęstość minimalną) i wewnętrzną oraz zewnętrzną głębokość bitową skanowania. Najczęściej dynamika i głębokość bitowa są powiązane: 2,4 D – 24bit; 3,0 D – 30bit; niedawno 3,2–3,7 D – 48bit. Skanery bębnowe, ale i najnowsze skanery płaskie, sięgają dynamiki 4–4,2D – 48bit (dane producentów).

Możliwości odtworzenia kontrastów przez monitory podawane są w formie stosunku najjaśniejszego elementu (bieli) do najciemniejszego (czerni) i określane jako np. 500 : 1 lub określane rozpiętością kontrastów w jednostkach EV (w tym przypadku ok. 9).

Na przeciętnym monitorze CRT można odtworzyć kontrasty rzędu 8–9 EV, na wysokiej klasy w korzystnych warunkach $\sim 11\text{--}12$ EV.

Monitory LCD mają różne rozwiązania konstrukcyjne (podświetlenia i matryce) i od tego zależą ich możliwości reprodukcji kontrastów. Przy jasności maksymalnej rzędu 300 cd/m^2 i czerni zależnie od rodzaju matrycy rzędu $0,1\text{--}0,7\text{ cd/m}^2$ uzyskany kontrast statyczny może być rzędu 400 : 1 do 3000 : 1.

System projekcyjny może odtworzyć kontrasty (zależnie od ekranu i warunków odbioru) rzędu nawet 3000:1.

Papier fotograficzny cz.-b. dysponuje optyczną gęstością maksymalną rzędu 1,7–2,5 D zależnie od gładkości, faktury i struktury powierzchni. Papier barwny osiąga optyczną gęstość maksymalną rzędu 2,5–2,7 D również zależnie od gładkości, faktury i struktury powierzchni.

Wydruki na wysokiej klasy papierach, zależnie od użytych tuszy czy tonerów oraz gładkości powierzchni, mogą osiągać kontrasty ograniczone optyczną gęstość maksymalną rzędu 2–2,5 D.

Jakość odwzorowania barw to przede wszystkim poprawność równoczesnej reprodukcji skali szarości oraz neutralności reprodukowanej bieli, a także równomierność odtworzenia barw na dużych płaszczyznach, co obecnie w fotografii tradycyjnej i poprawnie wykonanej fotografii cyfrowej jest już standardem. Poprawność odwzorowania barw to także zrównoważenie barw obrazu w całym zakresie reprodukowanych gęstości oraz ich poprawność kolorymetryczna, na co ma wpływ zarówno proces zdjęciowy, dobór i własności materiałów czy matryc, jak i obróbka chemiczna czy cyfrowa.

W przypadku tradycyjnych materiałów światłoczułych różnice w uczuleniu warstw światłoczułych, stosowanie filtrów międzywarstwowych, automatycznego maskowania optycznego oraz własności powstających barwników (udziały gęstości głównych i ubocznych) przekładają się na różnice nasycień niektórych

barw. Niektóre materiały²², różniące się nieznacznie kontrastowością, są produkowane, przy tej samej światłoczułości, w odmianach NC (*natural color*) i VC (*vivid color*). Produkowane też są, lub były, materiały szczególnie korzystnie reprodukujące w pozytywie niektóre barwy, co czasem podkreślano w nazwie materiałów (np. *baby, gold*) predestynowanych do określonego charakteru zdjęć.

Dopasowanie rozkładu spektralnego światła ekspozycyjnego do wielkości uczulenia warstw materiałów halogenowych dokonuje się poprzez użycie filtrów konwersyjnych. Jednak krzywe widmowego współczynnika przepuszczania tych filtrów często odbiegają od krzywych teoretycznych, co wpływa na wskaźniki oddawania barw R_a (od $R_a = 99$ dla absorpcyjnych do $R_a = 85$ dla interferencyjnych) tych filtrów, a w konsekwencji na jakość barw reprodukowanych w danym systemie reprodukcyjnym. W przypadku filtrów interferencyjnych zmiany te są dodatkowo funkcją kąta padania wiązki świetlnej²³.

Przy fotografii cyfrowej na jakość reprodukcji barw mają wpływ własności spektralne efektywnej czułości detektorów oraz algorytmy obróbki uzyskanych z matrycy danych i algorytmy kompresji, ale także zachowanie zasad procesu zdjęciowego oraz również własności materiałów czy systemów prezentujących obraz ostateczny. Dopasowanie wielkości efektywnej czułości detektorów matrycy do temperatury barwowej źródła światła następuje poprzez zmianę elektrycznych warunków pracy. Różne materiały fotograficzne i różne aparaty cyfrowe mają podobne, ale nie jednakowe czułości spektralne, co wpływa na ich sposób reprodukcji barw. Przykładowe efektywne czułości spektralne fotograficznego materiału barwnego i detektora aparatu cyfrowego przedstawia rys. 2.

Efekty oceny reprodukcji barw (rys. 3) dokonuje się wizualnie lub kolorymetrycznie poprzez porównanie wyniku z wzorcem (np. z użyciem 24-polowej tablicy kolorów Gretag-Macbeth i stosownego programu).

We wszystkich tych rozważaniach oceny reprodukcji barw nie są uwzględniane sytuacje, gdy celowo wprowadza się zniekształcenia tonalne czy barwne poprzez stosowanie filtrów zdjęciowych czy cyfrowych, celowych zmian obróbki chemicznej (np. forsing) itp.

Przy ocenie jakości odwzorowania barw nie można nie wspomnieć o problemie metameryzmu barw. Metameryzm (rys. 4) polega na różnym odbiorze barwy tej samej substancji barwiącej zależnie od zmian własności światła oświetlającego tę substancję lub od zmiany własności oceniającego detektora światła²⁴. Najłatwiej zauważyć to zjawisko, gdy dwie barwy oświetlone jednym źródłem światła (np. dziennym) wyglądają tak samo, a po zmianie źródła światła na inne (np. żarowe) różnią się od siebie. Chodzi tu o zmianę odczucia konkretnych

²² Np. Kodak Professional Portra 160 i 400.

²³ W. Dybczyński, Z. Siemion, *Błędy filtrów konwersyjnych*, [w:] *Materiały VI Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego KSK*, [b.m.w.] 2003.

²⁴ Szerzej w: B. Rolek, *Metameryzm barw a obrazy fotograficzne*, [w:] *Materiały sesji naukowo-technicznej „Polfoto 2002”*, Wrocław 2002.

barw, a nie dryf wszystkich barw spowodowany zmianą składu spektralnego iluminantu. To samo zjawisko może występować przy tym samym źródle światła, a zmianie np. aparatów rejestrujących te barwy (metameryzm czułości). Efekt metameryzmu może być spowodowany również różnicami wielkości obserwowanej barwnej płaszczyzny, a także warunkami geometrycznymi – kąt obserwacji, kąt padania światła, szczególnie przy podłożach metalicznych lub wydrukach specjalnych (nietypowych). Zjawisko charakteryzowane jest przez wskaźnik metameryzmu barw sensorów, iluminantów.

Metody oceny metameryzmu zostały uregulowane normami ISO 17321-1:2006 dla aparatów oraz ISO 3664:2000 dla warunków oceny barw druku i fotografii.

Jakość odwzorowania detali (form, konturów) wartościowana jest poprzez ocenę reprodukcji kontrastu obrazu w funkcji wielkości i charakteru detali tego obrazu (funkcja przenoszenia modulacji, efekty krawędziowe itp.). Wpływ na jakość odwzorowania detali w procesie tradycyjnej reprodukcji fotograficznej mają zarówno własności samych materiałów, jak i sposoby obróbki, ale także w znacznej mierze jakość obiektów zastosowanych w procesie reprodukcji obrazu.

Pod pojęciem **rozdzielczości** układu obrazującego definiuje się jego zdolność do rozróżnienia dwu położonych blisko siebie punktów lub linii. Na rozdzielczość reprodukowanego obrazu ma wpływ rozdzielczość medium rejestrującego, rozdzielczość optyk stosowanych w całym ciągu technologicznym reprodukcji, sposobów obróbki zarejestrowanego obrazu (zarówno chemicznej jak i cyfrowej) ale także warunków prezentacji – odbioru (zmniejszenie dynamiki obrazu).

W fotografii tradycyjnej przy ocenie jakości odwzorowania drobnych detali korzysta się z założeń sformułowanych przez Lamberta, wiążących interpretację oceny drobnych detali z ogólnymi własnościami materiału fotograficznego. Jako kryterium przyjmuje się zdolność rozdzielczą stosowaną do opisu jakości układów optycznych, wyrażaną w parach linii (czarna-biała) na 1 mm odległości w obrazie (lp/mm), przy czym w fotografii tradycyjnej ocena jakości materiału koncentruje się na pomiarach ostrości konturowej (akutancji) i FPM – funkcji przenoszenia modulacji, zwanej czasem funkcją przenoszenia kontrastu MTF (ang. – *modulation transfer function*), w zależności od rozmiaru detalu, a jako porównawcze przyjmuje się wyniki reprodukcji kontrastu na poziomie modulacji 0,5²⁵.

Z czasem zdolność rozdzielczą ujmuje się wskaźnikiem SQF (ang. *Subjective Quality Factor*) uwzględniającym efekty MTF, CSF (ang. *Contrast Sensitivity Function* – funkcja czułości kontrastowej oka ludzkiego), wielkość obrazu i odległość percepcji tego obrazu. Wskaźnik SQF poza opracowaniami Kodaka i Polaroida nie jest powszechnie stosowany.

Przy konieczności rejestracji większej ilości szczegółów używa się aparatu o większym formacie (większej powierzchni materiału światłoczułego). Pomno-

²⁵ P. Nowak, *Badania niejednorodności optycznej chromogennych nośników informacji obrazowej, opartych na lipofilowych komponentach barwnikowych i halogenosrebrowych emulsjach światłoczułych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

żenie rozdzielczości fotograficznej przez dwa daje wartość rozdzielczości cyfrowej wyrażanej w pikselach na jednostkę długości (mm, cal).

W fotografii cyfrowej rozdzielczość jest niejako narzucona przez rozmiar nośnika – matrycy (uwarunkowany możliwościami technicznymi produkcji) i wielkość piksela, którą w niektórych aparatach można zmieniać (tylko powiększać). Zwykle określa się ją w postaci podania ilości pikseli sumarycznie lub na długości i szerokości obrazu i są to wielkości graniczne. Rzeczywista rozdzielczość jest mniejsza, bowiem w rejestrowaniu obrazu bierze udział obiektyw i układy ograniczające more, a w przypadku np. kontrastowych cz.-b. cienkich, długich, jednopikselowych detali nieortogonalnie ustawionych do brzegów matrycy, algorytmy przetwarzania obrazu szybko zmniejszają wielkość reprodukowanych kontrastów. Również i w tym przypadku, przy konieczności rejestracji większej ilości szczegółów, używa się aparatu o większym formacie matrycy (o ile jest to możliwe).

Ilość szumu (zakłócenia, ziarnistość wynikające ze struktury obrazu) w przypadku materiałów halogenosrebrowych zależy od własności materiałów (m.in. ich czułości) oraz sposobów ich obróbki, przy czym w przypadku materiałów barwnych obowiązuje daleko posunięta standaryzacja obróbki z uwagi na nadrzedną wartość, jaką jest jakość reprodukcji barw. Zmiana ziarnistości obrazów na materiałach halogenosrebrowych niewywołanych, a czasem nawet już wywołanych, w przypadku materiałów cz.-b. była możliwa (w pewnych granicach) poprzez obróbkę niestandardową lub dodatkową, w przypadku materiałów barwnych nie była praktykowana. Dużo łatwiejsze obecnie jest osiągnięcie tego celu poprzez skorzystanie z możliwości fotografii hybrydowej.

Pomiary ziarnistości oceniane są metodą RMS (ang. *Root Mean Square*) oceniającą wielkość standardowego odchylenia danej wielkości od wielkości ustalonej średniej (gęstości optycznej, napięcia). Wykonuje się to w przypadku fotografii tradycyjnej poprzez skanowanie fragmentu materiału fotograficznego o jednakowej, określonej gęstości optycznej mikrodensytometrem o aperturze średnicy 48 μm . Ponieważ postrzeganie szumów lub ziarnistości zależy od gęstości optycznej, powiększenia obrazu oraz odległości, z jakiej go się ogląda, Kodak opracował²⁶ subiektywną metodę oceny ziarnistości (szumu) zwaną PGI (ang. *Print Grain Index*), ale również on nie jest szeroko stosowany.

W przypadku fotografii cyfrowej źródłem szumów, szczególnie dokuczliwych w ciemnych partiach obrazu, jest matryca generująca szumy jak każde urządzenie elektroniczne zależnie od temperatury pracy (aparat pracuje w Europie Środkowej w temp. od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do ok. $35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Poza tym generowanie szumów może mieć źródło w defektach struktury półprzewodnika czy niedokładnościach w wykonaniu elementów piksela matrycy, a wielkość szumów zależy od wyboru ustawienia czułości, temperatury pracy, fizycznych rozmiarów piksela, niejed-

²⁶ <http://www.kodak.com/global/en/professional/support/techPubs/e58/e58.html>, [data dostępu: 2010].

nakowej czułości poszczególnych pikseli oraz czasu naświetlania²⁷. Poziom szumów (rys. 5) ocenia się jako stosunek wielkości sygnału do szumu S/N (SNR – *Signal-to-Noise Ratio*) lub jego pochodną logarytmiczną wyrażaną w decybelach (dB) – dwukrotny wzrost SNR to jego przyrost o ~6 dB.

Wyrażając szum w odniesieniu do relatywnych jednostek luminancji (EV, f-stop, strefa Adamsa) ściślej związanych z percepcją wzrokową, określamy go w odniesieniu do luminancji sceny jako:

$$\text{Szum (EV)} = 1/\text{SNR}$$

Szereg aparatów cyfrowych posiada oprogramowanie usuwające szумы obrazu przed jego zapisem. Oczywiście obecny rynek oferuje wiele programów bardzo rozbudowanych (np. *Neat Image*, *Noiseware*) oferujących zaawansowane mechanizmy usuwania szumów ze zdjęć cyfrowych lub można to zrealizować np. poprzez nałożenie i uśrednienie kilku zdjęć statycznych.

W przypadku rejestracji obrazów rolę oka pełnią aparaty z obiektywami różnej klasy o różnych właściwościach. Rolę siatkówki pełnią w nich światłoczułe materiały fotograficzne lub matryce. W przypadku fotografii tradycyjnej materiał światłoczuły jest po obróbce równocześnie nośnikiem pamięci informacji obrazu.

Rejestracja obrazu rzeczywistości w fotografii tradycyjnej następuje na materiałach lub urządzeniach o określonych właściwościach wprowadzających swoje zniekształcenia wynikające z niedoskonałości tych materiałów lub urządzeń. Dotyczą one reprodukcji dynamiki luminancji oraz reprodukcji subtelných różnic odcieni poszczególnych barw (zarówno zmniejszając, jak też czasem zwiększając nasycenie niektórych barw w stosunku do oryginału). Tradycyjne systemy reprodukcyjne wykorzystujące wielokrotne kopiowanie lub przekopiowywanie między materiałami lub systemami również wprowadzają swoiste zniekształcenia.

W systemie fotografii cyfrowej obraz obiektu przechwytywany jest z wykorzystaniem matrycy elementów światłoczułych o różnych barwoczułościach. Przechwycone w ten sposób informacje o fragmentach obrazu są gromadzone w pamięci operacyjnej aparatu, poddawane obróbce i zapisywane w postaci cyfrowej.

Przy systemie cyfrowym informacje obrazu są przetwarzane i często odfiltrowywane informacje uznawane przez dany system za nadmiarowe (dla ograniczenia ilości informacji do obróbki w czasie rzeczywistym, przesyłania i zapisu – podstawowy problem systemów cyfrowych). Często zasady odfiltrowywania tych informacji odwołują się do zasad przetwarzania i rejestracji obrazów okiem, choć zwykle są ich znacznym uproszczeniem, wpływającym jednak na zawartość treściową.

²⁷ Kodak CCD Image Sensor Noise Sources, Revision 2.1, January 10, 2005, [w:] <http://astro.union.rpi.edu/documents/CCD%20Image%20Sensor%20Noise%20Sources.pdf> [data dostępu: 11.05.2010].

Systemy reprodukcyjne cyfrowe wykorzystujące wielokrotne kopiowanie lub przekopiowywanie między systemami również wprowadzają swoiste zniekształcenia (może wyjątkiem jest wykonanie nieprzetworzonych, prostych kopii cyfrowych w ramach jednego systemu cyfrowego).

Obecne materiały zdjęciowe są w stanie zarejestrować skalę luminancji zbliżoną do skali dynamiki oka. Również możliwości rejestracyjne elementów światłoczułych sprzętu elektronicznego czy cyfrowego są obecnie tego samego rzędu. Każdy z systemów wprowadza jednak zniekształcenia rejestracji barw wynikające z własności stosowanych rozwiązań technologicznych. Zwykle sprowadzają się one do małych zniekształceń reprodukcji barw w niektórych odcieniach, ale mogą także wprowadzać barwy dowolne (umowne), jak np. w systemach rejestrujących obrazy spoza zakresu światła widzialnego (IR, UV). W przypadku fotografii cz.-b. zniekształcenia sprowadzają się do odchyłeń rejestracji subiektywnej jasności poszczególnych barw i było znane od początków istnienia fotografii (co zresztą stało się powodem rozwoju technologicznego materiałów fotograficznych). Często jednak celowo rezygnuje się z poprawności reprodukcji barw lub jasności, stosując odpowiednie filtry efektowe w procesie zdjęciowym.

Obecne technologie rejestracji na materiałach zdjęciowych oraz możliwości sprzętu cyfrowego umożliwiają rejestrację obrazu w miarę poprawnego barwnie i przetworzenie go potem poprzez stosowną obróbkę z użyciem filtrów zarówno tradycyjnych jak i cyfrowych. Obowiązuje tu dbałość o zgodność temperatury barwowej światła oświetlającego fotografowany obiekt ze zbalansowaniem czułości spektralnych elementów rejestrujących obraz (film, przetworniki obrazu).

Wizualna jakość reprodukowanych barw przez dany iluminant określana jest wskaźnikiem oddawania barw CRI (*Color Rendering Index*) wyrażana powszechnie używanym ogólnym wskaźnikiem R_a lub nowszym $R96_a$ czasem w połączeniu ze wskaźnikiem palety barw GAI (*Gamut Area Index*)²⁸.

Najlepszym iluminatem (rys. 6) jest światło dzienne (ale i ono jest zmienne, w ciągu dnia i w swojej równomierności) oraz światło żarowe (obydwa z definicji CRI = 100).

CIE ustanowiła szereg standardowych źródeł światła o określonym rozkładzie spektralnym światła, określanym temperaturą barwową lub skorelowaną temperaturą barwową (CCT, T_{cp}) i zdefiniowanym umiejscowieniem na wykresie chromatyczności, jakich należy używać przy ocenie barwy. Takie źródła zostały nazwane normalnymi, standardowymi, a promieniowanie emitowane przez źródło standardowe zostało nazwane iluminantem normalnym, standardowym, do którego porównuje się własności innych iluminantów.

Wprowadzanie do praktyki zdjęciowej nowych, bardziej wydajnych energetycznie i atrakcyjnych ekonomicznie źródeł światła (np. źródła wyładowcze,

²⁸ <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-ColorGuideforRetailLighting-March2010.pdf> [data dostępu: 11.05.2010].

światłówki czy ostatnio LED) powoduje, że ich własności rzutują na jakość rejestrowanego obrazu. Własności spektralne źródeł światła białego LED wynikają z technologii ich produkcji i często nie zapewniają równomiernego rozkładu spektralnego (rys. 7). Dobór własności tych źródeł LED oraz ewentualna korekta ich niedoskonałości umożliwiają ich stosowanie w praktyce, lecz może być przyczyną występowania metameryzmu niektórych barw obiektów zdjęciowych.

Wpływ na ilość i jakość światła emitowanego przez diody LED ma też zasilanie i temperatura ich pracy²⁹. Informacje z literatury fachowej donoszą o produkowaniu źródeł LED światła białego³⁰ o dużej trwałości (>10 000 godz.) i wydajności (modułów EdiStar ~80 lm/W co daje strumień 4000–14 000 lm) jednak jakość (równomierność barwy) ich światła w porównaniu do niektórych diod (o wskaźniku oddawania barw $R_a \sim 90$, a więc drogiej) tego samego producenta nie jest zadowalająca³¹.

Źródła światła LED mają wiele zalet:

- duża sprawność energetyczna (>60%, żarówki ~ 5%),
- możliwość sterowania jasnością (choć z problemami wynikającymi z niezgodności charakterystyk diod i oka),
- krótki czas włączenia i wyłączenia,
- duża żywotność (>10 000–100 000 godz.),

ale też wady:

- nie zawsze najlepsza biel światła (przeciętnie LED CRI ~ 75) i jej zmiana zależna od zasilania, temperatury pracy i zużycia chipu,
- wytworzenie bieli poprawnej wizualnie przez użycie LED (wąskopasmowych) w kolorach podstawowych nie rozwiązuje problemów oświetlania planów wymagających poprawnej reprodukcji wszystkich barw,
- konieczność dobrego chłodzenia (przy złym chłodzeniu złącza – zmiana barwy świecenia, spadek sprawności świetlnej, szybsze zużywanie struktur),
- producenci tworzą własne standardy ocen nie zawsze kompatybilne – problemy z interpretacją danych,
- najlepsze pod względem efektywności i własności zestawy LED są drogie i trudno dostępne,
- LED w zestawach nie mogą być wymieniane pojedynczo.

Tradycyjnie obrazy fotograficzne są prezentowane na papierach fotograficznych lub wydrukach zarówno czarno-białych jak i barwnych o różnej jakości i formatach (od mikro oglądanych przez lupę po wielkoformatowe plakaty). Równolegle rozwijał się kierunek rejestracji obrazów na materiałach odwracal-

²⁹ I. Fryc, Z. Siemion, *Pomiary fotometryczne, kolorymetryczne oraz spektrofotometryczne diod LED*, [w:] *Materiały VI Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego KSK*, [b.m.w.] 2003.

³⁰ T. Rojek, *Rynkowe przeboje LED firmy Edison Opto*, „Elektronik” 2010, nr 1.

³¹ Zgodnie z dyrektywą Komisji Europejskiej (*Commission Regulation* (EC) No 244/2009) trwa wycofywanie z użycia oświetlenia żarowego, więc należy poważnie się liczyć z wejściem do powszechnego użytku źródeł światła LED, w tym do oświetleń planów zdjęciowych.

nych lub kopiowania obrazów na materiały o podłożu przezroczystym przeznaczone do prezentacji w projekcji, zarówno przedniej jak i tylnej.

Aby móc obejrzeć obraz zapisany w postaci cyfrowej, należy go przetworzyć do postaci umożliwiającej wyświetlenie go na ekranie monitora i/lub wydrukowanie go na odpowiedniej drukarce. Takie odtworzenie treści obrazu, piksel za pikselem i układanie ich w obraz realizowany jest przez procesory i oprogramowanie kart graficznych lub drukarek czy naświetlarek. Praktycznie wszystkie stosowane obecnie karty graficzne i monitory pozwalają na wyświetlenie przestrzeni barw 8 bitowej (16,7 milionów barw), a nieliczne większej.

Rozwój technologii telewizyjnych oraz reklamy umożliwił prezentację obrazów statycznych na większych ekranach od monitorów czy telewizorów, aż do wielkogabarytowych wyświetlaczy reklamowych (telebimy LED). Nowo wprowadzane rozwiązania systemów prezentujących obraz (np. wielkogabarytowe wyświetlacze LED), czasem niedoskonałych w początkowym okresie wprowadzania na rynek, wykazują odchylenia w równomierności wyświetlanych płaszczyzn bądź w neutralności odtwarzanej bieli. Aby obraz danej rzeczywistości mógł być jej wiernym odtworzeniem, teoretycznie należałoby dokładnie odtworzyć bezwzględne luminancje poszczególnych elementów tworzących tę rzeczywistość przy określonej dokładności odtworzenia granic pomiędzy elementami (rozdzielczość). Najczęściej nie jest to możliwe ze względów zarówno technicznych jak i ekonomicznych, wobec czego system reprodukcyjny ogranicza się do odtworzenia różnic luminancji z najważniejszego przedziału luminancji obiektu – w uproszczeniu przyjmowany jest przedział niewiele ponad 2 jednostki $\log_{10}$ środkowego zakresu luminancji obiektu, z rozdzielczością ograniczoną przez optykę zdjęciową czy kopiowania. Zwykle wystarcza to do odtworzenia w obrazie podstawowej treści reprodukowanej rzeczywistości.

Średni poziom luminancji obrazu rzeczywistości często również odbiega od średniej luminancji obiektu rzeczywistego. Np. nie da się odtworzyć w kopii papierowej bezwzględnych luminancji rzeczywistości rejestrowanej w pełnym słońcu na plaży w tropikach. Obecnie stosowane papiery fotograficzne lub do wydruków oraz systemy wyświetlające umożliwiają odtworzenie szerszego niż kiedyś zakresu gęstości optycznych, nadal jednak nie jest to pełny zakres luminancji odbieranych okiem w korzystnych warunkach oświetleniowych.

Często dla odtworzenia kontrastowości średniego zakresu luminancji obiektu w obrazie dobierano odpowiednią kontrastowość papieru, co czasem powodowało, przy obrazach o dużej rozpiętości luminancji, utratę zarejestrowanych na negatywie szczegółów luminancji w cieniach lub światłach obrazu, dając w efekcie duże fragmenty obrazu rażąco białe lub czarne. W fotografii tradycyjnej rozwiązuje się ten problem poprzez odpowiednie „opracowanie” odbitki doświetlając lub maskując takie fragmenty obrazu. W fotografii cyfrowej odpowiednikiem „opracowywania” jest HDR (ang. *High Dynamic Range* – Szeroki Zakres Tonalny) lub DRI (ang. *Dynamic Range Increase* – Zwiększenie Zakresu Tonalnego).

go), gdzie wykorzystuje się informacje zapisane w pliku typu RAW, albo wykonuje się, stosując bracketing, serię ujęć tej samej sceny przy stałej wartości przysłony i czasach zmienianych z zadany skokiem i potem przy użyciu odpowiedniego oprogramowania generuje się jeden obraz ze szczegółami w cieniach i światłach. Rozwiązania te nie zwiększają jednak zakresu tonalnego odbitki ograniczonego nadal własnościami papieru lub systemu wyświetlającego, są jednak w stanie uwidocznić elementy obrazu poprzednio nieczytelne lub niewidoczne. Zarówno jedno jak i drugie rozwiązanie wpływa na wierność reprodukcji tonalnej.

W ostatnim dziesięcioleciu rozwija się jednak również kierunek wierniejszego odtwarzania poszerzonego zakresu tonalnego (HDRI) zapoczątkowany przez kinematografię, ale wobec rozszerzenia możliwości reprodukcji tonalnej przy wyświetlaniu obrazów na współczesnych monitorach czy projektorach i wyświetlaczach, mający zastosowanie również do odtwarzania obrazów statycznych.

Najnowsze technologie w tym zakresie stosujące aktywne sterowanie lokalnie podświetleniem LED (1400 diod przy rozdzielczości 1920×1080 – ponad 2 mln pikseli i odświeżaniu 60 Hz) – zasadę ilustruje rys. 8 – umożliwiają wyjście poza dotychczasową granicę i osiągnięcie kontrastów dynamicznych rzędu 200 000 : 1 i statycznych rzędu 25 000 : 1 przy jasności rzędu 3000 cd/m^2 . Umożliwia to reprodukcję większych kontrastów obrazów, ale stawia nowe wymagania odnośnie pozostałych elementów toru reprodukcyjnego i jednak nie zapewnia tego w pełnej rozdzielczości.

Przy większym zakresie reprodukowanych luminancji (większa ilość informacji) konieczne było określenie nowych przestrzeni barw, formatów zapisu plików, odpowiednie rozwinięcie systemów operacyjnych i oprogramowania, systemów zarządzania barwą, użycie nowych kart graficznych itd. Część tych rozwiązań powstała w ramach rozwoju obróbki cyfrowej obrazu w kinematografii, ale część rozwija się niezależnie.

W fotografii cyfrowej jakość barw i dynamika obrazu zależy od algorytmów przetwarzania danych z matrycy, roboczej przestrzeni barw, formatu zapisu. Najwięcej danych zapisywanych jest w formacie RAW. Inne popularne formaty zapisu zwykle ograniczają ilość zapisywanych informacji, choć w tym zakresie można zaobserwować stałą poprawę. Większa liczba informacji w pliku RAW w stosunku do formatu typu tiff czy jpeg umożliwia dokonanie bardzo głębokich korekcyj obrazu cyfrowego bez utraty jego jakości.

W chwili obecnej najczęściej w użyciu są modele przestrzeni barw i związane z nimi możliwości kodowania przykładowo podane w tabeli 1. Część formatów graficznych umożliwia tworzenie ich wersji HDRI przez poszerzenie własności, wprowadzając częściową modyfikację struktury ich zawartości. Tak np. LogLuv TIFF zamiast użycia modeli barw RGB i CMYK stosuje model CIELuv z 16-bitowym skalowaniem logarytmicznym o podstawie 2 ($L16 + U8 + V8$).

W efekcie przestrzeń zapisu zajmowana przez piksel jest niewiele większa od standardowo zajmowanej przy 8-bitowym zapisie i modelu RGB.

Z najnowszych formatów zapisu HDRI warto zwrócić uwagę na JPEG XR (*eXtended Range*) znany wcześniej jako HD Photo (.hdp) lub Windows Media Photo (.wdp). Umożliwia zapis informacji o pikselu w formatach monochromatycznych, sRGB, CMYK z dokładnością 8, 16 lub 32 bit/kanal, kanału alfa, metadanych EXIF, profili ICC, z wydajnymi algorytmami kompresji stratnej lub bezstratnej z transformacją DWT (*discrete wavelet transform*) jak w JPEG2000, operującą na blokach 4×4 do 2×2 (JPEG – transformacja DCT (*discrete cosine transform*) bloki 8×8). Format umożliwia dekodowanie części obrazu, co jest korzystne przy np. kadrowaniu czy odbijaniu w pionie/poziomie. Plik może mieć rozmiar do 32 GB, a przy tej samej jakości obrazu może być dwukrotnie mniejszy niż dotychczasowy JPEG³². JPEG XR wprowadzony został w 2010 r. normą³³ jako obowiązujący standard.

Często wykonując wydruki na drukarce fotograficznej istnieje możliwość porównania jakości obrazu wyświetlanego na monitorze z obrazem wydrukowanym i na tej podstawie dokonywanie ocen barw i stosownej edycji obrazu, co oszczędza czas i pieniądze. Aby oceny takie były miarodajne, muszą być użyte ustalone i kontrolowane (np. w komorach świetlnych) warunki obserwacji, od których zależy nasze wrażenie barwy (patrz tab. 2). Na te warunki składa się stałość oświetlenia (należy unikać pomieszczeń o ciągle zmieniającym się oświetleniu naturalnym), choć wskazane jest zaaranżowanie oświetlenia zbliżonego do dziennego (D_{50} lub D_{65}) i o wskaźniku R_a co najmniej 90, wskaźniku metameryzmu D_{50} poniżej 4, unikanie w tym pomieszczeniu elementów o silnych barwach oraz ograniczenie odbić światła od ekranu zarówno od bezpośrednich źródeł światła, jak i jaskrawych przedmiotów lub odzieży. Przy założeniu dokładnego dopasowania barw poziomy oświetlenia (jasności) porównywanych obrazów oraz ich temperatury barwowej na dwóch monitorach lub monitorze i wydruku, powinny być takie same. Zgodnie z normami ISO 3664³⁴ i ISO 12646³⁵ monitor powinien mieć D_{50} jasność co najmniej 100 cd/m^2 , zaś odbitka (wydruk) powinna być oświetlona w komorze oświetleniowej światłem o natężeniu 1500–2000 lx.

Współczesne monitory LCD zapewniają jasność maksymalną na poziomie $250\text{--}450 \text{ cd/m}^2$, niektóre nawet więcej (powyżej 3000 cd/m^2). Ich rozdzielczość uwarunkowana jest budową fizyczną (wymiary matrycy i gęstość upakowania pikseli). Monitor kineskopowy (CRT) potrafi równie ostro wyświetlać obrazy

³² *HD Photo Photographic Still Image File Format. Feature Specification*, Microsoft Corporation, [b.m.w.] 2006.

³³ ISO/IEC 29199-2:2009, ISO/IEC 29199-4:2010, ISO/IEC 29199-5:2010 *Information technology -- JPEG XR image coding system*.

³⁴ ISO 3664 *Viewing Conditions: Graphic Technology and Photography*.

³⁵ ISO 12646 *Graphic Technology: Displays for Color Proofing, Characteristics and Viewing Conditions*.

o różnych rozdzielczościach, podczas gdy monitory LCD tylko przy jednej rozdzielczości (tzw. rozdzielczości natywnej) wyświetlają obraz o optymalnej ostrości.

Monitory standardowo powinny oferować przestrzeń barw sRGB. Monitory lepszej klasy mogą pracować w szerszych przestrzeniach barwnych, np. Adobe RGB, ProPhoto. Innymi parametrami wpływającymi na wierność odtworzenia barw na monitorze LCD są: równomierność podświetlenia matrycy, równomierność odtworzenia barw, stabilność jasności w czasie, możliwość kontroli parametrów takich jak jasność, wartość współczynnika gamma i jego korekta (z precyzją 10–12-bitową), nasycenie, odcień, wzmocnienie, temperatura barwowa punktu bieli, 14–16-bitowa precyzja obróbki informacji o kolorze. Dla poprawnego odwzorowania barw niezbędne jest stosowanie profili producenta, a także kalibracja programowa umożliwiająca osiągnięcie zadanego poziomu odwzorowania bieli, ale kosztem utraty odwzorowania pewnych odcieni, lub sprzętowa operująca na tabeli barw LUT (*Look Up Table*) monitora i umożliwiająca uzyskanie poprawnego odwzorowania tonalnego dla każdej z barw podstawowych, bez utraty niektórych odcieni.

Warunki odbioru odtwarzanych obrazów

Na warunki odbioru obrazu składają się następujące elementy:

- właściwości samego prezentowanego obrazu danego obiektu (papier, przezrocz, obraz na wyświetlaczu lub ekranie),
- sposób prezentacji obrazu (pozycja na ścianie, podłodze, suficie, oglądanie przez otwory, lupy, mikroskopy),
- właściwości pomieszczenia i stosownego oświetlenia (odpowiedni poziom i ukierunkowanie oświetlenia i jego temperatura barwowa – T_B),
- komfort odbioru (pozycja oglądania, temperatura i wilgotność otoczenia, stopień nagłośnienia lub hałasu, inne elementy zmieniające lub zakłócające odbiór, przeszkody naturalne lub ludzie w polu widzenia na drodze obserwacji).

W miejscach, gdzie wymagane jest doskonałe rozróżnianie barw, więc w galeriach, przy prezentacjach fotografii lub reprodukcji obrazów, należałoby stosować światło o temp. barwowej 5000–6500 K i wskaźniku R_a 90–99³⁶ i natężeniu oświetlenia rzędu 50–100 lx³⁷. Wskazane byłoby stosowanie większego na-

³⁶ E. Musiał, *Dobór własności barwowych źródeł światła*, [w:] *Materiały Seminarium „Aktualne problemy techniki świetlnej”* Elmar Co., Bydgoszcz 2003.

³⁷ A. Charkowska, *Optymalne warunki wystawiennicze i magazynowe w muzeach, galeriach, bibliotekach i archiwach*, „Chłodnictwo & Klimatyzacja” 2007, nr 3 za normą PN-84/E-02033 *Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym* zastąpioną przez normę PN-EN 12464-1:2004 *Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy*. <http://www.klimatyzacja.pl/wentylacja/optymalne-warunki-wystawiennicze-i-magazynowe-w-muzeach-galeriach-bibliotekach-i-archiwach> [data dostępu: 2010].

tężenia oświetlenia przynajmniej rzędu 300–500 lx (przyp. Autora), jak przy pracy biurowej³⁸, dla stworzenia warunków lepszej percepcji dynamiki gęstości obrazów fotograficznych, szczególnie przy obrazach ciemnych lub zawierających ważne elementy o wysokich gęstościach optycznych. Wskazana jest też dbałość o to, aby oprawy eliminowały ze strumienia świetlnego zakres UV i IR zwykle destrukcyjnie wpływające na trwałość³⁹ prezentowanych obrazów.

Najczęściej w galeriach stosowane są oprawy oświetleniowe ze źródłami żarowymi, zwykle halogenowymi lub świetlówki, przy czym ze względów ekonomicznych najczęściej oświetlenie włączane jest ręcznie lub automatycznie tylko w czasie przebywania widzów w pomieszczeniach (co ma też korzystny wpływ na trwałość prezentowanych obrazów). Należałoby rozważyć dostosowywanie poziomów oświetlenia zależnie od dynamiki wystawianych fotografii i ich odporności na światło. Stare odbitki, mało odporne na światło, mają gęstości optyczne $D_{\max}$ rzędu 1,5–1,8 i nie trzeba ich tak mocno oświetlać jak odbitki współczesne o $D_{\max}$ rzędu 2,5.

Oprawy oświetlające obrazy i inne eksponaty powinny być tak rozmieszczone, aby nie wywoływały powstawania olśnień (tzw. blików) z pozycji odbiorcy. Jest to szczególnie istotne, gdy obrazy są umieszczone za szybą lub posiadają błyszczącą powierzchnię. W jednym pomieszczeniu nie należy stosować źródeł światła o różnych temperaturach barwowych, chyba że jest to uwarunkowane jakimś celem.

Jakość obrazów zarejestrowanych na tradycyjnych materiałach fotograficznych (przezrocza), reprodukowanych poprzez ich wyświetlenie na ekranie, zależy zarówno od jakości samego przezrocza, jak i jakości projektora, ale też własności i jakości ekranu oraz jego ochrony przed niepożądanym światłem ubocznym psującym dynamikę gęstości wyświetlanego obrazu.

Jakość rzutnika klasycznego określa siła światła, jego równomierność rozkładu w płaszczyźnie obrazu, utrzymanie płaskości przezrocza w trakcie wyświetlania, jakość układu optycznego (jasność, rozdzielczość, zdolność reprodukcji kontrastów, możliwość zoom czy korekty trapezu, automatyka ustawiania ostrości), a także możliwości eliminacji promieniowania UV oraz IR i chłodzenia wyświetlanego przezrocza.

Dobór rodzaju powierzchni ekranu zależy od przeznaczenia i rodzaju projekcji (przednia, tylna), kąta pod jakim będą oglądać obraz na ekranie najbardziej skrajnie znajdujący się widzowie i mocy projektora. Parametrem kierun-

³⁸ J. Młodkowski, *Aktywność wizualna człowieka*, PWN, Warszawa 1998.

³⁹ Przy częstych i długotrwałych prezentacjach fotografii opłaca się wykonanie duplikatów zdjęć lub wykonanie odbitek na papierach typu Cibachrome (Ilfochrome) o znacznie większej odporności na zmiany barw, choć jest to dosyć kosztowne.

kowym jest współczynnik zysku (*gain*)⁴⁰, który może być większy od jedności, gdy do pokrycia materiału ekranu doda się składniki odbijające lub ukierunkowujące światło i powodujące, że w kierunku obserwatora zostanie skierowana większa ilość światła padającego (należy tu uwzględnić układ osi projektora i osi widzenia obserwatora w stosunku do ekranu). Kontrastowość obrazu jest trochę większa, odbywa się to jednak kosztem zmniejszenia ilości światła rozsiewanego na boki (mniejszy kąt dobrego widzenia od osi ekranu) i kosztem równomierności jasności na większych ekranach. Chociaż ekrany do projekcji tylnej są ekranami transmisyjnymi, określa się dla nich współczynnik zysku tak samo jak dla ekranów odbijających.

Zbyt mały kąt obserwacji eliminuje część widzów odbierających obraz poza kątem dobrego widzenia, ale do pewnego stopnia poprawia komfort widzenia przy istnieniu w pomieszczeniu rozproszonego światła wypełniającego. Innym sposobem poprawy komfortu widzenia i jakości odbioru jest stosowanie rozpraszającego ekranu szarego o współczynniku zysku rzędu 0,7–0,8 i wyrównanie do wymaganej jasności obrazu przez użycie projektora o większej mocy. Prościej jest dobrać ekran do projektora niż odwrotnie, ale jest to niezbędne, bowiem albo obraz będzie zbyt ciemny i przez to słabo widoczny, albo zbyt jaskrawy, rażący w oczy, bez czerni i również źle odbierany.

Oczywiście inne parametry są też istotne, jak np. typ ekranu – ramowy, zwijany, ścienny, sufitowy, przenośny; format ekranu najlepiej dopasowany do formatu prezentowanego obrazu; wielkość ekranu powiązana z odległością ekranu od widzów (standardowo 1,5x do 6x szerokości ekranu); obecność czarnych ramek wokół ekranu. W kwestii doboru ekranu warto korzystać z kalkulatorów odległości dostarczanych w postaci aplikacji przez producenta projektora lub ogólnych dostępnych w Internecie⁴¹.

Jakość obrazów zapisanych w formie cyfrowej i reprodukowanych poprzez ich wyświetlenie z projektora na ekranie zależy od jakości pliku (rozdzielczość, głębokość bitowa, wyjściowa przestrzeń barwna, rodzaj i stopień kompresji, zgodność temperatury barwowej obrazu z T_B projektora – *color management*) oraz palety odtwarzanych barw przez projektor, wielkości i równomierności rozkładu strumienia świetlnego, użytego układu optycznego (jw.), a także jakości ekranu.

Projektory różnią się od siebie metodami wytwarzania i modulacji światła barwnych:

- wysokowydajne kineskopy o barwach podstawowych (historyczne),
- wyświetlacze ciekłokrystaliczne LCD pojedyncze pracujące w trybie transmisyjnym i zespołem filtrów obrotowych,

⁴⁰ Współczynnik zysku (*gain*) to współczynnik odbicia światła w kierunku obserwatora w stosunku do powierzchni Lamberta (powierzchnia Lamberta idealnie biała i matowa, z definicji posiada współczynnik odbicia równy 1).

⁴¹ Np. <http://www.projectorcentral.com/projection-calculator.cfm> [data dostępu: 2010].

- wyświetlacze ciekłokrystaliczne LCD potrójne pracujące w trybie transmisyjnym, gdzie każda z trzech składowych barw RGB jest modulowana przez oddzielny układ,
- wyświetlacze DLP (ang. *Digital Light Processing* – cyfrowe przetwarzanie światła) oparte o technologię chipów DMD (ang. *Digital Micromirror Device*). Istnieją dwa typy wyświetlaczy DLP z jednym układem DMD i filtrami (3–6 filtrów), lub trzema układami DMD, w których każdy z trzech składowych kolorów RGB jest wyświetlany przez oddzielny układ DMD.

Każde z tych rozwiązań determinuje zarówno dynamikę, jak i paletę odtwarzanych barw. Przykład dla 9 projektorów DLP i LCD ilustruje rys. 9. Możliwości odtworzenia barw projektora są określane miarą CLO – *Colour Light Output*⁴². Miara ta pojawiła się, gdy dla zwiększenia strumienia świetlnego niektórzy producenci zaczęli wprowadzać obok źródeł światła barw podst. RGB dodatkowo światła barwne spoza standardu, a w niektórych modelach projektorów również dodaje się światło białe. Mieszanina takich światel daje światło białe, ale reprodukowane barwy są mniej nasycone. Ocenę CLO przeprowadza się tak jak ocenę jasności w 9 punktach ekranu, ale prowadzi się pomiar dla każdej barwy podstawowej osobno (otrzymuje się macierz 9 x 3 wyników).

Własności ekranu i natężenie oświetlenia ekranu światłem ubocznym w pomieszczeniu prezentacyjnym, ale także dynamika gęstości obrazu, determinują wymaganą wielkość strumienia świetlnego projektora oraz zdolność odtworzenia kontrastów (rys. 10).

Prezentacja tego samego obrazu w różnych warunkach (wyświetlenie na ekranie, wydruk na papierze) czy na różnym sprzęcie wymaga zgodności lub zbliżenia do zgodności przekazywanych wrażeń. W pewnym zakresie umożliwia to od pewnego czasu system zarządzania barwą (*color management*). Z uwagi na różnorodność nośników obrazu i różne, niepokrywające się ich właściwości nie jest możliwe wierne odtworzenie całej palety barw w każdym systemie reprodukcji. Stąd też zarządzanie barwą wprowadza swoje zniekształcenia, starając się jednak zmieniać proporcjonalnie nasycenie podobnych barw z uwzględnieniem preferencji użytkownika.

W ostatnich latach dokonał się znaczący rozwój cyfrowych technik rejestracji obrazu i reprodukcji barwy. Wśród systemów zarządzania barwą największą popularność zdobyły profile kolorystyczne ICC. Ich specyfikacja, stworzona przez International Color Consortium, zapewnia standaryzację na różnych platformach komputerowych systemów operacyjnych i działania sprzętu (skanerów, cyfrowych aparatów fotograficznych, drukarek, monitorów, przyrządów pomiarowych itp.). Warunkiem poprawnego działania systemu zarządzania barwą jest oparcie go o wiedzę z zakresu teorii barwy i procesu widzenia. Zaczynając od

⁴² http://www.sony.ca/projectors/guides/3LCD_Color_Output.pdf [data dostępu: 11.05.2010];
<http://www.colorlightoutput.com/measure.html> [data dostępu: 11.05.2010].

pierwszego etapu procesu reprodukcji, jakim jest rejestracja obrazu (fotografia klasyczna, cyfrowa, czy skanowanie), poprzez obróbkę cyfrową i analizę (konwersje pomiędzy przestrzeniami barw), a kończąc na druku nie można zapominać o takich aspektach reprodukcji jak standaryzacja oświetlenia, osiągalna rozpiętość przestrzeni kolorystycznej, możliwość wystąpienia metameryzmu czy okresowe kalibracje urządzeń.

Sposoby oceny jakości obrazów

Odkąd stwierdzono, że w fotografii tradycyjnej ten sam obraz może w reprodukcji wyglądać nieco inaczej, rozpoczęto prace w kierunku oceny procesu reprodukcyjnego. Umożliwia to zarówno konkretyzację własności materiałów używanych w takim procesie, jak też pozostałych elementów tego procesu, jak jakości naświetlania, obróbki, zabiegów dodatkowych wpływających na efekt końcowy. Tak powstała i rozwinęła się sensytometria. Wraz z rozwojem fotografii barwnej rozwinęła się również sensytometria barwna bazująca na pomiarach umownych gęstości optycznych, stanowiąca uproszczony system kolorymetryczny. W badaniach materiałów lub systemów reprodukcyjnych barwnych wykorzystuje się wiedzę i pomiary kolorymetryczne. Wykonywanie takich pomiarów w praktyce fotografa jest mało realne (wiedza, sprzęt i czas), dlatego częściej korzysta się z łatwiejszych do realizacji zdjęć testowych.

Dla standaryzowania tych ocen opracowano szereg wzorników skali szarości i barwnych – reprezentantów luminancji oraz barw otaczającej rzeczywistości i wykorzystywanych w procesach kalibracji systemów oraz tworzenia profili ICC (rys. 11). Wzorniki przeznaczone do tradycyjnych testów fotograficznych to np. Macbeth Gretag Color Checker i tablice szarości; do testów z użyciem aparatów cyfrowych np. wzornik Macbeth Gretag Color Checker oraz Macbeth Gretag Color Checker SG; do testów skanerów wzorniki IT8 oraz HTC itp. Wiele firm zaleca swoje wzorniki do testów lub kalibracji układów reprodukcyjnych lub stosowanie konkretnego wzornika do kalibracji urządzeń wyjściowych, np. drukarki, naświetlarki⁴³.

Używanie takich wzorników staje się standardem w pracy profesjonalnej. Na marginesie należy wspomnieć, że jako twór materialny, wykonany na bazie papieru lub folii, ulegają one procesom starzenia i dokładność ich (odchylenia od standardowych wartości kolorymetrycznych) z upływem czasu lub przy intensywnej eksploatacji zmniejsza się na tyle, że producenci zalecają ich wymianę.

Pomiary kolorymetryczne stanowią obecnie standardową metodę oceny jakości reprodukcji barw przez dany układ reprodukcyjny. Używanie wzorników do pomiarów kolorymetrycznych wymaga uwzględnienia odchyleń koloryme-

⁴³ B. Fraser, C. Murphy, F. Bunting, *Profesjonalne zarządzanie barwą*, wyd. 2, Helion, Gliwice 2005.

trycznych poszczególnych pól wzornika od wartości standardowych, podanych w arkuszu atestu.

Kalibrację monitora powinno się wykonywać okresowo z użyciem odpowiedniego zestawu czujnik – oprogramowanie, chociaż w niektórych sytuacjach, przy zachowaniu zasad percepcji możliwe jest ustawienie warunków pracy monitora wizualnie.

Również problemy odtworzenia drobnych szczegółów w obrazie wymagają standaryzowania sposobów ich oceny poprzez stosowanie testów rozdzielczości lub innych badań (fot. tradycyjna) ułatwiających porównywanie własności systemów reprodukcyjnych w całości jak też ich elementów składowych (rys. 12).

Trendy zmian

Gdy 19 sierpnia 1839 roku malarz Louis J. Daguerre zademonstrował w Paryżu pierwszy trwały obraz uzyskany poprzez działanie światła, prasa krakowska niezwłocznie poinformowała o tym rewelacyjnym wydarzeniu: „Obraz osiągnął najwyższy stopień dokładności i widzowie ujrzawszy go, okrzykami objawili swoje podziwienie”⁴⁴. No cóż, dagerotypy i dzisiaj są podziwiane i pożądane, ale nie są wzorem najwyższego stopnia wierności (szczególnie barwnej).

Postępujący rozwój techniczno-technologiczny powoduje stałe zmiany w systemach rejestracji obrazów oraz w sposobach oceny jakości reprodukowanych obrazów. Tak dzieje się od zarania fotografii – od początkowego zachwytu nad w ogóle możliwością zarejestrowania i odtworzenia obrazu w danej technologii, po stawianie coraz wyższych wymagań wierności i standaryzacji tego procesu. Można się zastanawiać, czy jest celowe takie podejście (w końcu dyktowane przez życie) do zwiększania wymagań wierności reprodukcji. Jeszcze 30 lat wstecz rejestracja obrazów barwnych o dużej rozpiętości tonalnej nie była możliwa, a i reprodukcja standardowej skali szarości na materiałach barwnych nastręczała problemy. Jeszcze wcześniej opracowywano receptury wywołujące wyrównawczych lub akutanacyjnych dla materiałów cz.-b. po to, by móc zarejestrować i zreprodukować w obrazie pozytywowym większy zakres tonalny obiektu z lepszą rozdzielczością, godząc się na zniekształcenia tonalne. W sferze fotografii portretowej lub ślubnej było to niezbędne i wymagało niemałych umiejętności, by otrzymany obraz również nie wykazywał nadmiernej ziarnistości. Dostępne dzisiaj materiały, technologie i sprzęt umożliwiają dużo lepszą jakościowo rejestrację i reprodukcję obrazów, znacznie lepiej tolerują błędy fotografujących, ale od wymagających, świadomych fotografików też wymagają sporego zasobu wiedzy, tyle że trochę innej.

⁴⁴ J. Zieliński, *Historia pocztówki krakowskiej. W półtonach światłodruku*, cyt. za: [http://www.sztuka.pl/index.php?id=124&tx_ttnews\[tt_news\]=389&tx_ttnews\[backPid\]=138](http://www.sztuka.pl/index.php?id=124&tx_ttnews[tt_news]=389&tx_ttnews[backPid]=138) [data dostępu: 11.05.2010].

W zakresie fotografii cyfrowej można zaobserwować bardzo szybki rozwój zarówno w zakresie sprzętu i materiałów, jak i oprogramowania. W efekcie daje to w zakresie rejestracji obrazów szybsze działanie sprzętu, lepsze i szybsze algorytmy analizy, przetwarzania, kompresji, przesyłania danych i w końcowym efekcie znacząco lepszą jakość zarejestrowanych i reprodukowanych obrazów. Szybki rozwój ma miejsce również na polu prezentacji obrazów – coraz lepsze papiery, atramenty lub tonery, wyświetlacze oparte o technologię OLED (wykorzystywane także jako źródła światła⁴⁵) lub obecnie AMOLED (na razie małych rozmiarów) rokuja dobrze na przyszłość. Przy szybkim tempie rozwoju zawsze zdarzają się niedociągnięcia, niedopatrzenia, ograniczenia patentowe czy wręcz zbyt duże uproszczenia, które przekładają się np. na wystąpienie kiedyś metameryzmu barw atramentów pigmentowych, zniekształcenia zakresu reprodukcji barw spowodowane nieadekwatnym doбором własności barw podstawowych, czy niemożności uzyskania w obrazie równocześnie poprawnej bieli i dużego zakresu tonalnego (szybko opanowane). Wszystkie oceny reprodukcji należy prowadzić z uwzględnieniem celu, stopnia wierności i założonego poziomu jakościowego docelowego przedsięwzięcia – wywołania założonych wrażeń.

Producenci sprzętu nie wiedzą, do jakich celów będzie on używany, starają się więc wprowadzać opracowane rozwiązania profesjonalne do sprzętu popularnego. Ten trend ma wieloletnią tradycję, ale użytkownik musi mieć świadomość uproszczeń i ograniczeń, jakie każdy sprzęt i system reprodukcyjny wprowadza.

Przy konieczności bardzo wiernej reprodukcji barw niezbędne będzie sprawdzenie możliwości całego ciągu reprodukcyjnego poprzez zdjęcia testowe nie tylko z użyciem standardowych obiektów (wzorników czy testów), ale również obiektów i materiałów planowanych do użycia w procesie zdjęciowym czy reprodukcyjnym. Bez tego nie uniknie się rozczarowań porównując wysmakowany kolorystycznie obiekt z jego obrazem.

Tabela 1. Porównanie kodowania barw HDR1

Encoding	Covers gamut	Bits/pixel	Dynamic range	Quant. step
sRGB	No	24	1,6 (1,0:0,025)	Variable
RGBE	No	32	76 (10^{38} : 10^{-38})	1,00%
LogLuv 24	Yes	24	4,8 (15,9:0,00025)	1,10%
LogLuv 32	Yes	32	38 (10^{19} : 10^{-20})	0,30%
scRGB	Yes	48	3,5 (7,5:0,0023)	Variable
scRGB-nl	Yes	36	3,2 (6,2:0,0039)	Variable

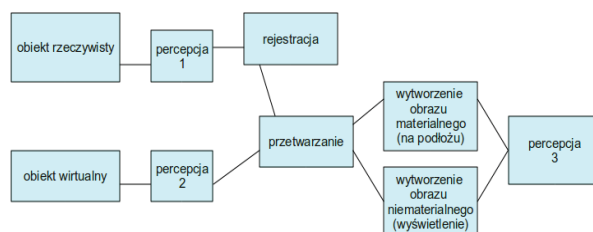
Źródło: http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/hdr_encodings.html [data dostępu: 11.05.2010]

⁴⁵ <http://www.oled-info.com/oled-light> [data dostępu: 11.05.2010] oraz <http://www.oled-display.net/oled-lighting> [data dostępu: 11.05.2010].

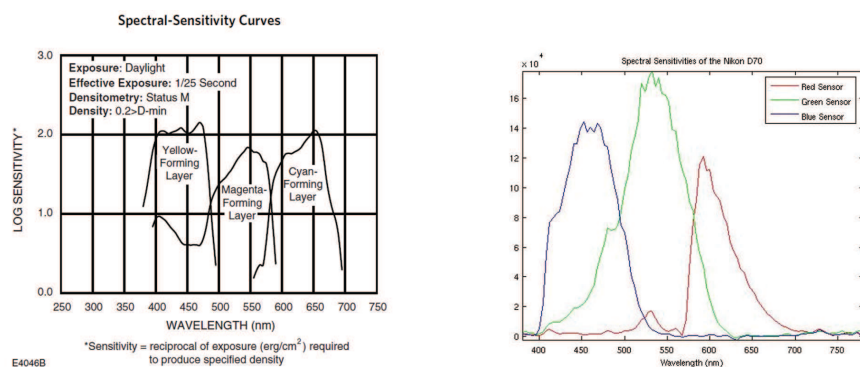
Tabela 2. Porównanie warunków przeglądu obrazów wg norm ISO.

 International Organization for Standardization ISO3664 – ISO12646		
Illuminant Illuminant wzorcowy	CIE D50	CIE D50
Oświetlenie otoczenia Punkt bieli Oświetlenie robocze Oświetlenie odbitki próbnej Inne Odblask	CIE D50 5000K lub mniej 64 do 32 luxów lub mniej 1500 do 2500 luxów Unikać bezpośredniego światła słonecznego itp. Brak odblasków od ekranu	CIE D50 5000K lub mniej 64 do 32 luxów lub mniej 1500 do 2500 luxów Unikać bezpośredniego światła słonecznego itp. Brak odblasków od ekranu
Monitor Punkt Bieli Luminancja bieli	CIE D65 Min 75 cd/m ² , zalecane 100 cd/m ² lub więcej	CIE D50 Min 80 cd/m ² , zalecane 120 cd/m ² lub więcej
Warunki otoczenia	Neutralna barwa ścian o współczynniku odbicia 80% lub mniej	Neutralna barwa ścian o współczynniku odbicia 80% lub mniej
Konserwacja	Regularna kontrola systemu zgodnie ze specyfikacją	Regularna kontrola systemu zgodnie ze specyfikacją

Źródło: M. Baur, *Standardy reprodukcji w proofingu i procesach drukowania nakładowego*, III Konferencja z cyklu: Akademia Zarządzania Barwą „Color Management – sposób na zwiększenie konkurencyjności w obecnych realiach rynkowych”, Poznań 2009.

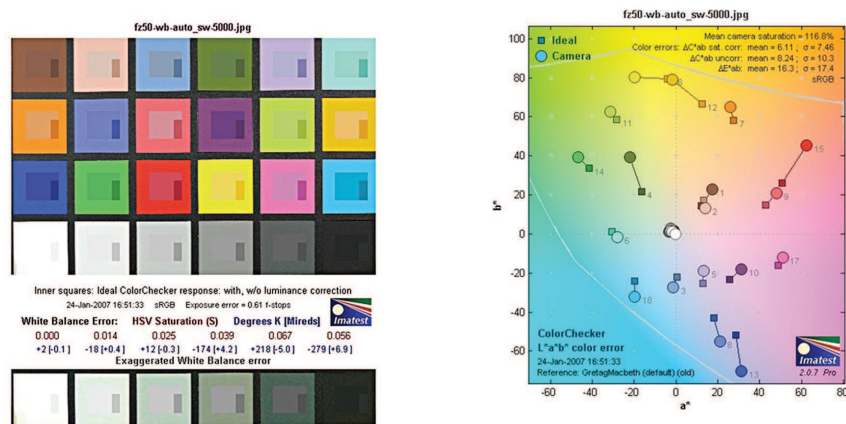


Rys. 1. Schemat reprodukcji fotograficznej



Rys. 2. Przykładowe czułości spektralne materiału fotograficznego i detektora aparatu cyfrowego

Źródło: Kodak tech. pub. E-4046 February 2010 oraz <http://scien.stanford.edu/pages/labsite/2005/psych221/projects/05/joanmoh/spectral.html> [dostęp: 11.05.2010]



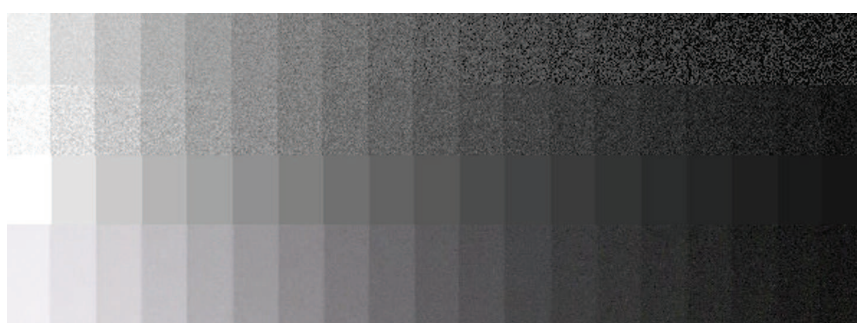
Rys. 3. Przykładowe oceny reprodukcji barw

Źródło: http://www.optyczne.pl/35.5-Test_aparatu-Panasonic_Lumix_DMC-FZ50_Wlasności_matrycy.html [dostęp: 11.05.2010]



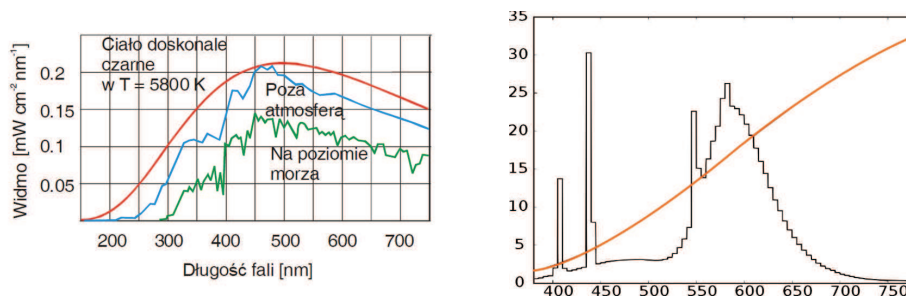
Rys. 4. Przykładowe zjawisko metameryzmu

Źródło: Kevan Shaw Bsc., *LED Technology for Lighting Folks*. LED_Lightfare_08.pdf, [w:] http://www.kevan-shaw.com/ksld_upload/pdf/LED_Lightfare_08.pdf [dostęp: 11.05.2010]



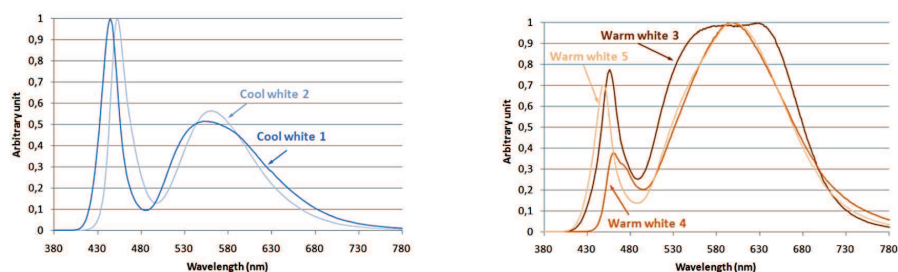
Rys. 5. Przykłady ziarnistości obrazu. Pierwszy pas – szum sensora przed kodowaniem gamma, drugi pas – stały szum obrazu, trzeci pas – bez szumu, czwarty pas – szum obrazu matrycy przykładowego aparatu

Źródło: <http://www.imatest.com/docs/noise.html> [dostęp: 11.05. 2010]



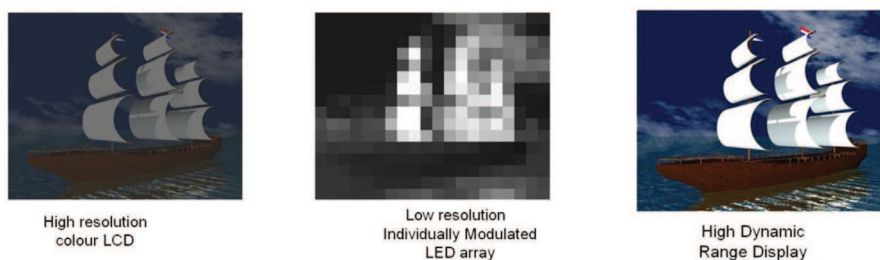
Rys. 6. Przykłady własności iluminantów dziennego oraz żarowego i świetłówki F4 CIE

Źródło: *Handbook of Optoelectronics*, ed. J.P. Dakin, R.G.W. Brown, CRC, New York – London 2006, cyt. za: <http://www.fizyka.umk.pl/~bezet/pdf/cri.pdf> [dostęp: 11.05.2010] oraz CIE illuminant F4 and a blackbody of 2938K, cyt. za: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7f/CIE_illuminant_F4_and_a_blackbody_of_2938K.svg/500px-CIE_illuminant_F4_and_a_blackbody_of_2938K.svg.png [dostęp: 11.05.2010]



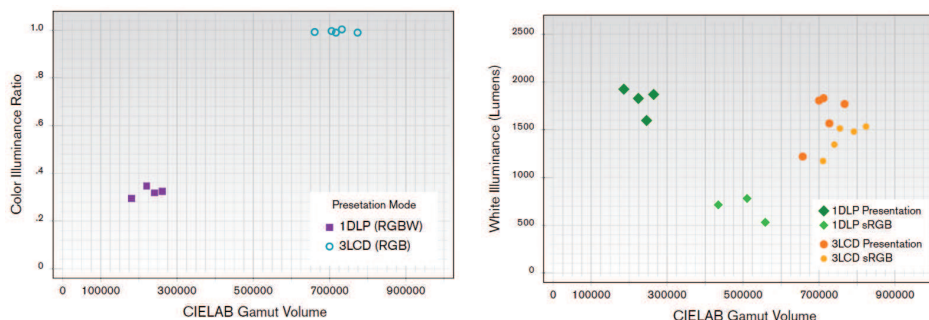
Rys. 7. Spektralny rozkład mocy przykładowych LED

Źródło: Nicolas Poussel, Gaël Obein, Annick Razet, *Visual experiment on LED lighting quality with color quality scale colored samples*. CQS.pdf CIE 2010 : Lighting Quality and Energy Efficiency, 2010, Vienna, Austria, cyt. za: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/47/23/29/PDF/CQS.pdf> [dostęp: 11.05.2010]



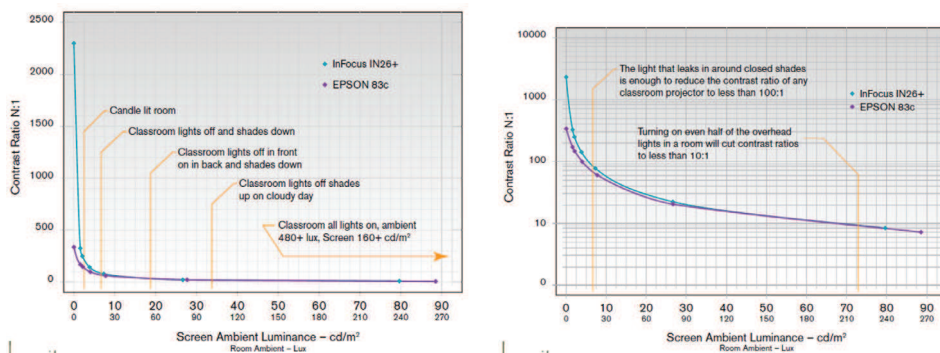
Rys. 8. Zasada lokalnego podświetlania LED

Źródło: http://www.brightsidetech.com/location/dr37/display/photo/dr37-p_hdr_display.htm [dostęp 2005]. Obecnie: <http://www.hardwaresecrets.com/article/BrightSide-High-Dynamic-Range-Display-Technology/208/1> [dostęp: 11.05.2010]



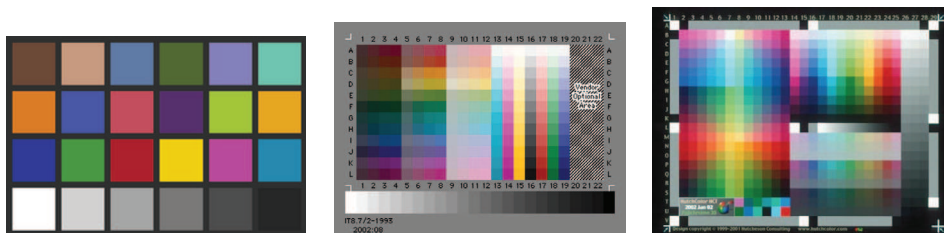
Rys. 9. Porównanie własności 9 projektorów trybach prezentacyjnym i sRGB

Źródło: Lang K., *Analysis of the proposed IEC "Color Illuminance" digital projector specification metric, using CIELAB gamut volume*. Lumita, Madison, WI Proceedings of the 15th Color Imaging Conference Albuquerque, NM November 2007 (*Color_Illuminance_CIC_R1.pdf*)



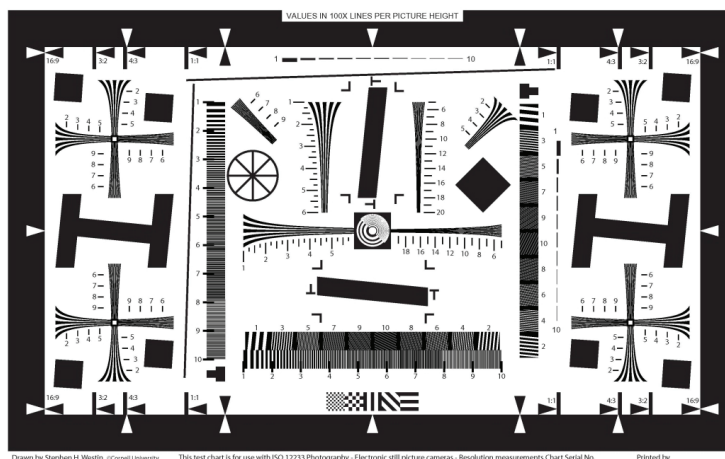
Rys. 10. Przykładowe zdolności odtworzenia kontrastów w projekcji przy świetle ubocznym dla projektora DLP i LCD

Źródło: *The Contrast Ratio of a Classroom or Business Projector is Irrelevant*. Lumita Lab Report October 2 2007 (*Contrast_ProClass.pdf*)



Rys. 11. Przykłady wzorników barwnych

Źródło: http://www.babelcolor.com/main_level/ColorChecker.htm [dostęp: 2010], http://www.computer-darkroom.com/it8cal/it8_page_1.htm [dostęp: 11.05.2010]



Rys. 12. Wzornik ISO 12233