

## Ocena jakości odwzorowania obrazu cyfrowego w procesie digitalizacji dóbr kultury

### Wstęp

Ochrona i promocja dziedzictwa kulturowego jest głównym celem wielu organizacji i instytucji kultury. Digitalizacja prowadzona jest na potrzeby archiwizacji zbiorów, prac konserwatorskich, promocyjnych oraz udostępniania on-line. Digitalizacja obiektów dziedzictwa kulturowego najczęściej wykonywana jest techniką fotograficzną, rzadziej techniką skanowania. Jakość uzyskanej kopii cyfrowej obiektu oceniana jest pod kątem geometrii, rozdzielczości i wierności odwzorowania kolorów. Uzyskanie kopii cyfrowej bez zniekształceń geometrycznych (dystorsji, winietowania, aberracji chromatycznej) oraz w wysokiej rozdzielczości zależy od parametrów technicznych aparatu fotograficznego i obiektywu. Wytyczne dotyczące pomiaru rozdzielczości matryc i obiektywów w aparatach fotograficznych zostały przedstawione w normie ISO 12233:2014 [1]. Kluczowe znaczenie w ocenie jakości obrazu cyfrowego ma kolor. Jakość odwzorowania koloru określa stopień zgodności obrazu cyfrowego z oryginalnym obiektem i rzutuje na późniejsze wykorzystanie w procesie reprodukcji.

Proces digitalizacji polega na sfotografowaniu lub zeskanowaniu obiektu wraz z wzornikiem kolorów. Kolory uzyskane na zdjęciu porównuje się z kolorami zmierzonymi spektrofotometrem na wzorniku. Obliczana jest różnica kolorów DE pomiędzy wartościami referencyjnymi a wartościami zmierzonymi na obrazie cyfrowym. Proces digitalizacji wykonywany jest w stałych warunkach oświetleniowych, przy źródle światła D50 lub D65.

W niniejszym artykule przedstawiono dwa podejścia do oceny wierności odwzorowania kolorów: Metamorfoze [2] i FADGI [3].

Metamorfoze to nazwa holenderskiego programu narodowego, którego celem jest zachowanie w postaci cyfrowej dziedzictwa kulturowego zgromadzonego w zasobach papierowych. Realizacja programu rozpoczęła się w 1997 roku jako wspólne przedsięwzięcie Holenderskiej Biblioteki Narodowej oraz Holenderskiego Archiwum Narodowego. Wytyczne Metamorfoze zostały wydane w 2012 roku i dotyczą digitalizacji materiałów dwuwymiarowych, takich jak: manuskrypty, dokumenty archiwalne, książki, gazety i czasopisma. Mogą być także stosowane do digitalizacji fotografii, obrazów malarskich i rysunków technicznych.

FADGI jest zbiorem najlepszych praktyk zalecanych przez agencje biorące udział w programie Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative, zainicjowanym w USA przez grupę zajmującą się digitalizacją nieruchomości obrazów dziedzictwa kulturowego. W ramach inicjatywy trwającej od 2009 roku opracowano

wytyczne dotyczące metadanych i oceny jakości obrazu cyfrowego. Pierwsza wersja FADGI została wydana w roku 2010 [4], a druga w 2016 [3]. Drugie wydanie zostało poprawione i zaktualizowane w kilku obszarach w celu lepszego odzwierciedlenia faktycznego stanu w dziedzinie sprzętu, zarządzania jakością, metadanych. Zakres FADGI ogranicza się do procesu digitalizacji nieruchomych obiektów (obrazów), takich jak: rękopisy, książki, ilustracje graficzne, prace artystyczne, mapy, plany, fotografie, zdjęcia lotnicze.

W dalszej części artykułu przedstawiono różnice w systemach oceny jakości obrazu cyfrowego, a następnie rekomendacje Metamorfoze (część druga) i FADGI (część trzecia) w zakresie wierności odwzorowania kolorów. Porównanie obu wytycznych na przykładzie danych eksperymentalnych przedstawiono w ostatniej części.

### Systemy oceny jakości obrazów cyfrowych

Metamorfoze i FADGI różnią się m.in.: liczbą poziomów jakości obrazu cyfrowego, tolerancjami wartości, miarami różnic barw.

Metamorfoze wyróżnia trzy poziomy jakości obrazu cyfrowego: Metamorfoze, Metamorfoze Light oraz Metamorfoze Extra Light. Najbardziej rygorystycznym poziomem jest Metamorfoze. Poziom ten powinny osiągać procesy digitalizacji dzieł sztuki o wysokiej złożoności detali i liczbie kolorów, np. obrazy, mapy, kolekcje fotografii i malarstwa. Osiągnięcie tego poziomu nakłada rygorystyczne wymagania na parametry procesu reprodukcji, takie jak: balans bieli, punkt czerni, skala szarości, oświetlenie, geometria, rozdzielczość obrazu, niski poziom zaszumienia pliku, metameria. Drugi poziom, Metamorfoze Light powinny osiągać reprodukcje dzieł, dla których wierność odwzorowania kolorów jest mniej znacząca, np. książki, gazety, czasopisma, materiały wykonane ręcznie (szkice, rysunki techniczne). Niewielki zakres dynamiki, jakim cechują się te prace, zmniejsza wymagania dotyczące wierności odwzorowania kolorów, równomierności oświetlenia, parametrów ekspozycji czy zaszumienia. Trzeci poziom jakości obrazów, Metamorfoze Extra Light, jest przeznaczony wyłącznie do digitalizacji książek, gazet i czasopism, dla których w większości przypadków stosowane są techniki skanowania.

FADGI definiuje cztery poziomy jakości obrazu – od 1 do 4 gwiazdek. Większa liczba gwiazdek oznacza wyższą jakość obrazu, co wiąże się z wyższymi wymaganiami technicznymi procesu digitalizacji. Jedna gwiazdka przypisywana jest reprodukcjom o bardzo niskiej jakości, które mają jedynie charakter informacyjny i mogą być wykorzystywane w celach archiwizacji lub dla celów dokumentacyjnych. Dwie gwiazdki przyznawane są reprodukcjom, które nie są wystarczająco dobrej jakości, aby mogły służyć jako kopie cyfrowe rzeczywistych obiektów. Ten poziom jakości obrazów może być wystarczający dla systemów OCR. Obraz cyfrowy osiągający trzy gwiazdki spełnia wysokie wymagania techniczne i cechuje się wysoką wiernością odwzorowania barw. Przeznaczony może być praktycznie do wszystkich zastosowań: archiwizacji, udostępniania na różne media, reprodukcji. Najwyższy poziom, jaki może osiągnąć obraz cyfrowy obiektu, jest oznaczony czte-

rema gwiazdkami. Tą miarą określa się obrazy cyfrowe reprezentujące bardzo wysoki stan wiedzy w dziedzinie digitalizacji obiektów oraz spełniające bardzo wysokie wymagania techniczne.

### Rekomendacje Metamorfoze w zakresie wierności odwzorowania kolorów

Metamorfoze rekomenduje stosowanie przestrzeni barw eciRGBv2, która została opracowana przez The European Color Initiative [5]. W uzasadnionych przypadkach, wynikających głównie z ograniczenia sprzętowego i oprogramowania, dopuszcza się zastosowanie przestrzeni Adobe RGB (1998) na drugim i trzecim poziomie jakości obrazu cyfrowego, tj. Metamorfoze Light i Metamorfoze Extra Light. Przestrzeń barw eciRGBv2 wykorzystuje kolory podstawowe ze standardu NTSC (National Television System Committee) z 1953 roku oraz punkt bieli D50. Standard NTSC umożliwia wygenerowanie gamutu pośredniego pomiędzy przestrzenią sRGB a ProPhotoRGB.

Program Metamorfoze rekomenduje również kilka wzorników kolorów przeznaczonych zarówno do kalibracji aparatów fotograficznych, jak i skanerów: Digital ColorChecker SG, mini ColorChecker, Kodak Gray Scale, QA-62-SFR-P-RP, QA - 2, Universal Test Target (UTT), Scanner Reference Chart. Obliczenie średniej oraz maksymalnej różnicy kolorów wykonuje się na podstawie wzornika Digital ColorChecker SG z wykorzystaniem formuły  $\Delta E_{ab}^*$ . Zalecane jest wykonanie własnych pomiarów spektrofotometrem dla wszystkich pól stosowanego wzornika.

W Metamorfoze wierność odwzorowania kolorów, nazywana *Color accuracy*, definiowana jest jako średnia arytmetyczna oraz maksymalna wartość ze wszystkich pól zawartych w DigitalColorChecker SG (140 pól). Formułą używaną do określenia średniej i maksymalnej wartości jest  $\Delta E_{ab}^*$  w wersji z 1976 roku [6]. Dla najbardziej restrykcyjnego poziomu jakości obrazu cyfrowego Metamorfoze średnia wartość dla wszystkich pól powinna wynosić  $\Delta E_{ab}^* \leq 4$  przy maksymalnej wartości  $\Delta E_{ab}^* \leq 10$ . Dla drugiego i trzeciego poziomu jakości obrazu cyfrowego Metamorfoze Light i Metamorfoze Extra Light wartości  $\Delta E_{ab}^*$  wynoszą odpowiednio: średnia  $\Delta E_{ab}^* \leq 5$ , maksymalna  $\Delta E_{ab}^* \leq 18$ .

Metamorfoze zwraca uwagę na balans bieli i na potrzebę wprowadzenia odpowiednich korekt na etapie obróbki obrazu cyfrowego. Korekt dokonuje się na polach szarości, np. dla wzornika Digital ColorCheckerSG jest to pole G5. Do oceny balansu bieli zastosowano formułę  $\Delta C_{ab}^*$  [7]. Dla wszystkich trzech poziomów jakości obrazu cyfrowego współczynnik  $\Delta C_{ab}^* \leq 2$ .

Zwrócono również uwagę na zjawisko metamerii, które może wystąpić pomiędzy tymi samymi polami we wzornikach kolorów. Stąd też zaleca się utrzymanie stabilnych i powtarzalnych warunków procesu digitalizacji (równomierne, standaryzowane oświetlenie, niezmiennie parametry techniczne sprzętu, niezależność procesu digitalizacji od operatora lub modelu sprzętu, przestrzeganie procedur digitalizacji). W tabeli 1 przedstawiono najważniejsze rekomendacje Metamorfoze w zakresie wierności odwzorowania kolorów.

Tabela 1. Rekomendacje Metamorfoze w zakresie wierności odwzorowania kolorów

	Metamorfoze	Metamorfoze Light	Metamorfoze Extra light
Przestrzeń kolorów	eciRGBv2	eciRGBv2 AdobeRGB (1998)	AdobeRGB (1998) Gray Gamma 2.2 eciRGBv2
Wierność odwzorowania kolorów (Digital ColorChecker SG)	Średnia $\Delta E_{ab}^* \leq 4$ Maksymalna $\Delta E_{ab}^* \leq 10$	Średnia $\Delta E_{ab}^* \leq 5$ Maksymalna $\Delta E_{ab}^* \leq 18$	Średnia $\Delta E_{ab}^* \leq 5$ Maksymalna $\Delta E_{ab}^* \leq 18$
Głębokość kolorów	16 bitów (8 bitów)	8 bitów	8 bitów
Balans bieli	$\Delta C_{ab}^* \leq 2$	$\Delta C_{ab}^* \leq 2$	$\Delta C_{ab}^* \leq 2$

### Rekomendacje FADGI w zakresie wierności odwzorowania kolorów

We wrześniu 2016 roku została opublikowana druga wersja FADGI [3]. W porównaniu do poprzedniej wersji [4] z 2010 roku rozszerza ona wiele kwestii związanych z procesem digitalizacji dóbr kultury. Poniżej przedstawiono zmiany, jakie wprowadzono do FADGI 2016 względem wcześniejszej wersji.

Obie wersje FADGI 2016 zalecają stosowanie wytycznych w połączeniu z DICE (Digital Imaging Conformance Evaluation Process Monitoring) – aplikacją opracowaną przez Bibliotekę Kongresu w Waszyngtonie, służącą do katalogowania zbiorów cyfrowych oraz do oceny jakości obrazu cyfrowego z wykorzystaniem standardowych wzorników kolorów (transmisyjnych i refleksyjnych). W wyniku współpracy FADGI i DICE wybrano zbiór parametrów kontroli jakości obrazu cyfrowego:

- Częstotliwość próbkowania – rozdzielczość przestrzenna obrazu obliczana jako liczba pikseli na cal (ppi). Informuje o wielkości oryginału, a także stanowi część danych potrzebnych do określenia poziomu szczegółowości danych zapisanych w pliku. Pomiar rozdzielczości definiuje norma ISO 12233:2014 [1].
- OECF – (Opto-Electric Conversion Function (OECF) – miara informująca o dokładności odwzorowania natężenia światła do poziomu pojedynczych pikseli. Pomiar OECF definiuje norma ISO 14524:2009 [8].
- Balans bieli – pomiar odwzorowania odcieni szarości na obrazie cyfrowym.
- Równomierność oświetlenia – pomiar równomierności odwzorowania odcieni szarości od środka do krawędzi na całym obrazie cyfrowym. Pomiar równomierności oświetlenia definiuje norma ISO 17957:2015 [9].
- Wierność odwzorowania kolorów – obliczana jako różnica koloru  $\Delta E$  pomiędzy obrazem referencyjnym a obrazem uzyskanym w procesie digitalizacji.

- Parametry pozwalające ocenić wskaźniki optyczne i odwzorowanie geometryczne obiektywu: dynamika odwzorowania koloru w każdym kanale RGB, odwzorowania kontrastu, pole obrazowe obiektywu, aberracje, dystorsje geometryczne, winietowanie, zaszumienie.

FADGI 2016 rekomenduje wzornik kolorów DICE Device Level Target. W wersji FADGI 2010 alternatywą był wzornik KodakColorControl/KodakGrayScale. DICE Device Level Target umożliwia ocenę równomierności oświetlenia oraz rozdzielczości urządzenia (obiektywu, skanera). Zawiera również 24 pola z wzornika ColorChecker i 6 dodatkowych pól szarości. Wartości pól referencyjnych (szarości i koloru) wyrażone są w przestrzeni barw CIE  $L^*a^*b^*$ . Zalecane jest wykonanie własnych pomiarów  $L^*a^*b^*$  dla wszystkich pól stosowanego wzornika.

W FADGI 2016 dokonano podziału obiektów na grupy w zależności od złożoności kolorystycznej i ilości detali. Przyjęto podział na następujące grupy:

- rzadkie i specjalne obiekty o szczególnym znaczeniu artystycznym i graficznym: grawerstwo, rysunek węglem, inkunabuły,
- kolekcje ogólne: książki i czasopisma z elementami graficznymi i ilustracjami,
- rękopisy lub inne rzadkie i specjalne obiekty (kalki) o mniejszej złożoności kolorystycznej i ilości detali,
- kolekcje ogólne: książki, dokumenty z przewagą półtonów, tabel, rysunków,
- mapy, plakaty i inne materiały,
- gazety,
- wydruki i fotografie,
- folie fotograficzne,
- negatywny fotograficzne,
- malarstwo i sztuka dwuwymiarowa (inna niż reprodukcja),
- zdjęcia rentgenowskie,
- druki, rękopisy oraz inne dokumenty na mikrofilmach.

Biorąc pod uwagę specyficzne wymagania każdej z wyżej wymienionych grup, opracowano odpowiednie wskaźniki pozwalające na osiągnięcie właściwego poziomu jakości obrazu cyfrowego. W poprzedniej wersji FADGI 2010 wszystkie obiekty należały do jednej grupy.

W FADGI 2016 zdefiniowano dwa typy plików: archiwalny i produkcyjny. Typ archiwalny zdefiniowany został jako najlepszy obraz cyfrowy możliwy do uzyskania w procesie digitalizacji. Typ archiwalny powinien możliwie najlepiej odwzorowywać dynamikę tonalną oryginału i kolory. Typ produkcyjny powstaje poprzez różnego rodzaju poprawki techniczne i estetyczne obrazu archiwalnego, np. korektę balansu bieli, korektę dynamiki tonów, transformacje geometryczne. Dopuszcza się zapis typów archiwalnych i produkcyjnych w różnych formatach i na różnych poziomach kompresji, dostosowanych odpowiednio do przeznaczenia.

W poprzedniej wersji FADGI 2010 zalecano stosowanie przestrzeni barw AdobeRGB (1998). W FADGI 2016 podtrzymano rekomendację AdobeRGB

(1998), ale dodatkowo dopuszczono stosowanie przestrzeni ProPhoto, eciRGBv2, Grey Gamma 2.2, sRGB.

W FADGI 2016 wierność odwzorowania kolorów, nazywana *Color accuracy* (we wcześniejszej wersji *Color Encoding Error*), definiowana jest jako średnia arytmetyczna wyników ze wszystkich pól zawartych w DICE Device Level Target (30 pól). W wersji FADGI 2010 dodatkowym parametrem (podobnie jak w Metamorfoze) była maksymalna wartość wyników ze wszystkich pól. Formułą używaną do określenia różnicy pomiędzy kolorami jest  $\Delta E$  z 2000 roku ( $\Delta E_{00}$ ) [6]. W tab. 2 i 3 przedstawiono wartości  $\Delta E_{00}$  dla FADGI 2010 i FADGI 2016. We wszystkich przypadkach wytyczne zostały zaostrzone, np. dla fotografii najwyższy poziom jakości (4 gwiazdki) uzyskamy dla  $\Delta E_{00} < 2$  (wcześniej  $\Delta E_{00} < 3$ ), dla trzech gwiazdek  $\Delta E_{00} < 6$  (wcześniej  $\Delta E_{00} < 10$ ).

Tabela 2. Wartości  $\Delta E_{00}$  dla FADGI 2010

Poziomy jakości obrazu cyfrowego	FADGI 2010	
	średnia $\Delta E_{00}$	maksymalna $\Delta E_{00}$
****	<3	<6
***	<5	<10
**	<10	<15
*	>10	>15

Tabela 3. Wartości  $\Delta E_{00}$  dla FADGI 2016

Obiekty	Poziomy jakości obrazu cyfrowego	FADGI 2016
		średnia $\Delta E_{00}$
Wydruki, fotografia, malarstwo, sztuka dwuwymiarowa (inn niż reprodukcja)	****	<2
	***	<4
	**	<6
	*	<10
Kolekcje ogólne, mapy, plakaty, gazety, inne materiały	****	<4
	***	<5
	**	<8
	*	<10
Obiekty rzadkie i specjalne, rękopisy	****	<3
	***	<5
	**	<8
	*	brak

### Porównanie Metamorfoze i FADGI pod kątem wierności odwzorowania kolorów

W 2015 roku przeprowadzono badania dotyczące optymalizacji procesu digitalizacji z punktu widzenia odwzorowania kolorów. Celem badań było określenie wpływu transformacji z formatu RAW do TIFF na wierność odwzorowania kolorów obrazu cyfrowego. W badaniach wykorzystano wzornik Digital ColorChecker SG, standardowe przestrzenie barw: AdobeRGB(1998), ProPhoto, eciRGBv2 oraz profile ICC i DCP. Wykorzystano trzy cyfrowe aparaty fotograficzne: Nikon 7100, Canon EOS 5D Mark II i Phase One 645DF oraz trzy źródła światła: D50 (światło ciągłe, CCT (Correlated Color Temperature) = 5002 K), A (światło ciągłe wolframowe CCT = 2861K), Flash (światło błyskowe, CCT = 4820 K). Do obliczenia średniej i maksymalnej wartości  $\Delta E$  zastosowano formułę z 2000 roku. Wyniki badań opublikowano w artykule [10] i na ich podstawie przedstawione zostanie porównanie wytycznych Metamorfoze i FADGI.

W tab. 4 wynikiem poszczególnych eksperymentów od 1 do 35 przydzielono poziomy jakości obrazu cyfrowego (gwiazdki) zgodnie z wytycznymi Metamorfoze, FADGI 2010 i FADGI 2016. W tab. 4 wynikiem poszczególnych eksperymentów od 1 do 35 przydzielono poziomy FADGI 2016. W Metamorfoze są to trzy poziomy: Metamorfoze (3 gwiazdki), Metamorfoze Light (2 gwiazdki) i Metamorfoze Extra Light (1 gwiazdka). W FADGI są to cztery poziomy jakości obrazu cyfrowego (od 1 do 4 gwiazdek).

Analizując przedstawione dane pod kątem zmian w FADGI 2010 i FADGI 2016, można zauważyć, że w większości przypadków został zachowany ten sam poziom jakości. W kilku przypadkach (8, 9 10, 14, 17, 29) klasa jakości wzrosła o jedną gwiazdkę dla FADGI 2016. Zmiana ta spowodowana jest rezygnacją z maksymalnej wartości  $\Delta E$ . Na przykład dla eksperymentu 9 średnia wartość  $\Delta E = 3,60$ , a maksymalna  $\Delta E = 14,85$ , co pozwoliło uzyskać drugi poziom jakości dla FADGI 2010, ale już trzeci dla FADGI 2016. W eksperymentach 24 i 30 pominięcie maksymalnej wartości  $\Delta E$  spowodowało obniżenie poziomu jakości z czterech gwiazdek do trzech.

W celu porównania Metamorfoze z FADGI 2016 obliczono średnie i maksymalne wartości  $\Delta E$  dla formuły  $\Delta E_{ab}^*$  i  $\Delta E_{00}$ . Wartości tych parametrów różnią się między sobą. Dla formuły  $\Delta E_{ab}^*$  różnica kolorów jest wyższa niż dla  $\Delta E_{00}$ . Wynika to modelu matematycznego obu formuł i uwzględnienia w formule  $\Delta E_{00}$  czynników wynikających z nierówności percepcyjnych, np. kompensacji koloru neutralnego, jasności, odcienia, nasycenia. W wielu przypadkach obrazy cyfrowe nie osiągnęły wytycznych Metamorfoze, ale spełniły FADGI. W pojedynczych przypadkach (6, 7) poziom jakości Metamorfoze był  $d\Delta E_{00}$ u niższy niż dla FADGI.

### Podsumowanie

Wytyczne Metamorfoze i FADGI są w świecie coraz szerzej wykorzystywane do oceny jakości obrazów cyfrowych. Opublikowanie nowej wersji FAGDI 2016 wprowadziło wiele zmian w systemie oceny jakości kolorów. Największą z nich jest odejście od uwzględniania maksymalnej wartości  $\Delta E$ , a pozostawienie tylko śred-

niej wartości ze wszystkich pól. Została też ujednoczona terminologia i ogólna forma prezentacyjna wytycznych Metamorfoze i FADGI 2016.

Tabela 4. Porównanie Metamorfoze i FADGI pod kątem wierności odwzorowania kolorów

Nr	Przestrzeń barw	Profil	Średnia	Maks.	Średnia	Maks.	Metamorfoze	FADGI 2010	FADGI 2016
<b>Aparat Nikon 7100, światło D50</b>									
1	ProPhoto RGB	ICC	1,66	4,26	2,8	6,7	***	****	****
2	AdobeRGB	ICC	1,85	5,41	3,14	9,53	***	****	****
3	eciRGBv2	ICC	2,09	8,62	3,57	14	**	***	***
4	ProPhoto RGB	DCP	3,83	9,77	5,81	25,78	poza normą	***	***
5	AdobeRGB	DCP	3,85	9,79	5,82	25,4	poza normą	***	***
6	ProPhoto RGB	DCP+ICC	1,92	5,12	3,36	11,11	**	****	****
7	AdobeRGB	DCP+ICC	2,04	6,21	3,47	12,77	**	***	***
<b>Aparat Nikon 7100, światło A</b>									
8	ProPhoto RGB	ICC	3,09	12,29	4,94	18,1	poza normą	**	***
9	AdobeRGB	ICC	3,60	14,85	5,75	20,53	poza normą	**	***
10	eciRGBv2	ICC	3,81	13,68	6,22	19,58	poza normą	**	***
11	ProPhoto RGB	DCP	6,65	19,51	10,3	30	poza normą	*	*
12	AdobeRGB	DCP	5,46	14,42	7,79	18,8	poza normą	**	**
13	ProPhoto RGB	DCP+ICC	3,14	9,84	5,15	18,88	poza normą	***	***
14	AdobeRGB	DCP+ICC	3,71	14,44	6,06	20,29	poza normą	**	***
<b>Aparat Nikon 7100, światło Flash</b>									
15	ProPhoto RGB	ICC	1,85	5,32	3,01	8,3	***	****	****
16	AdobeRGB	ICC	2,47	7,08	4,08	12,4	**	***	***
17	eciRGBv2	ICC	1,93	6,30	3,35	10,61	**	***	****
18	ProPhoto RGB	DCP	7,02	15,71	9,71	37,86	poza normą	*	*
19	AdobeRGB	DCP	7,03	15,74	9,75	41,74	poza normą	*	*
20	ProPhoto RGB	DCP+ICC	2,96	7,57	3,83	18,5	poza normą	***	***
21	AdobeRGB	DCP+ICC	2,74	6,64	5	22,3	poza normą	***	***
<b>Aparat Canon EOS 5D Mark II, światło Flash</b>									
22	ProPhoto RGB	ICC	2,43	6,21	3,83	12,7	**	***	***
23	AdobeRGB	ICC	2,4	6,24	3,81	14,91	**	***	***
24	eciRGBv2	ICC	2,18	5,69	3,56	9,54	***	****	***
25	ProPhoto RGB	DCP	4,24	10,77	7,27	39,46	poza normą	**	**
26	AdobeRGB	DCP	4,31	10,80	7,37	39,42	poza normą	**	**
27	ProPhoto RGB	DCP+ICC	2,61	6,45	4,31	13,2	**	***	***
28	AdobeRGB	DCP+ICC	2,7	7,83	4,49	13,64	**	***	***

## Aparat Phase One 645DF, światło D50

29	ProPhoto RGB	ICC	1,87	6,19	3,13	7,88	***	***	****
30	AdobeRGB	ICC	2,03	4,75	3,55	11,37	**	****	***
31	eciRGBv2	ICC	1.88	4.73	3,21	9,65	***	****	****
32	ProPhoto RGB	DCP	3,7	9,79	5,50	19,55	poza normą	***	***
33	AdobeRGB	DCP	3,32	9,56	4,95	14,45	**	***	***
34	ProPhoto RGB	DCP+ICC	2,38	5,91	3,74	11,33	**	****	***
35	AdobeRGB	DCP+ICC	2,18	8,23	3,71	13,52	**	***	***

## Bibliografia

1. ISO 12233:2014 – Photography – Electronic still picture imaging – Resolution and spatial frequency responses.
2. National Library of the Netherlands. Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines. 2012: version 1.0.
3. US Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative. Still Image Working Group. Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials, version 2016.
4. US Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative. Still Image Working Group. Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials, version 2010.
5. European Color Initiative, [www.eci.org](http://www.eci.org).
6. Luo M. R., Cui G., Rigg B., *The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000*, „Color Research and Application” 2001, 26 (5), s. 340–350.
7. Sharma G., Wu W., Dalal E. N., *The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations*, „Color Research and Applications” 2005, 30 (1), s. 21–30.
8. ISO 14524:2009 – Photography – Electronic still-picture cameras – Methods for measuring opto-electronic conversion functions (OECFs).
9. ISO 17957:2015 – Photography – Digital cameras – Shading measurements.
10. Korytkowski P., Olejnik-Krugły A., *Precise reproduction of colors in cultural heritage digitization*, „Color Research and Application”, in press.

## Abstract

*Quality assessment of digital image reproduction in the digitization process of cultural heritage.*

The article compares two systems of digital image reproduction quality assessment: Metamorfoze and FADGI. They were developed for needs of cultural heritage digitization process whose main goal is to create digital copies of objects that are as faithful to the original as possible. The article concentrates on aspects connected to color reproduction fidelity such as color spaces, color difference measures and reference patterns.