

ABSTRAKT: Artykuł przedstawia przegląd alternatywnych metod digitalizacji i analizy kolorystycznej dzieł sztuki, które mogą przyczynić się do zwiększenia technologicznej samodzielności w sektorze kultury, umożliwiając efektywniejszą pracę przy niższych kosztach, zwłaszcza w przypadku mniejszych instytucji. Z uwagi na ograniczenia serwisu `deltae.picturae.com` i kosztowne produkty firmy Image Science Associates, warto zwrócić uwagę na zaprezentowane w tekście dostępne oprogramowania, takie jak `OpenDICE` i `deltae.py`, umożliwiające przeprowadzanie testów zgodnych z wytycznymi FADGI w sposób nieobciążający znacząco budżetu instytucji.

W tekście analizowane są różne rodzaje wzorników, w tym popularne ColorChecker od Calibrite oraz wzorniki od ISA, ze szczególnym uwzględnieniem ich aktualności danych i kontroli jakości. Omówione zostają funkcje oprogramowania `OpenDICE`, tworzonego przez Bibliotekę Kongresu jako narzędzie open source, jak również `deltae.py`, oferujące elastyczność w adaptacji i analizie danych kolorystycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: `deltae`, wzorniki kolorów, ColorChecker, analiza kolorystyczna, fotografia dzieł sztuki

W POSZUKIWANIU NIEZALEŻNOŚCI – MOŻLIWOŚCI ANALIZY WZORNIKÓW BARWNYCH

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1368

Mikołaj Machowski

Muzeum Narodowe w Warszawie

Studia Wilanowskie

t. XXXI, 2024, s. 103–129

Rocznik, E-ISSN: 2720-0116

ABSTRACT: The paper provides an overview of alternate methods enabling digitisation and colour analysis of artworks which may contribute to achieving self-reliance in terms of technology in the cultural sector, thus unlocking efficiency at lower costs. This may prove particularly beneficial to smaller institutions. Given the limitations of the platform available at `deltae.picturae.com`, as well as the high cost of Image Science Associates products, it might be worthwhile to take a closer look at the software products presented in the paper, including `OpenDICE` and `deltae.py`, which enable carrying out FADGI-compliant testing in a way that does not impact the institution's budget to such an extensive degree. The paper focuses on analysing various kinds of colour charts, including the popular ColorChecker by Calibrite, as well as ISA colour charts, with a particular focus on data validity and quality control. Moreover, the author discusses the features of `OpenDICE`, a software solution developed by the Library of Congress as an open-source tool, along with `deltae.py`, which offers higher level of flexibility in adapting and analysing colour data.

KEYWORDS: `delt.ae`, colour charts, ColorChecker, colour analysis, art photography

Wstęp

W czasie forum zorganizowanego w Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie w dniach 17–18 listopada 2022 roku pt.: „Digitalizacja w muzeach – forum dyskusyjne. O problemach związanych z tworzeniem cyfrowej dokumentacji” padły tezy o potrzebie uniezależnienia się od serwisu <https://delt.ae.picturae.com/> oraz zaproponowania mniejszym instytucjom tańszych opcji – jeśli chodzi o wzorniki i oprogramowanie – w porównaniu z produktami firmy Image Science Associates¹. Poniższy artykuł ma za zadanie przedstawić możliwe alternatywy wobec serwisu delt.ae oraz opisać, jakie dane przestrzenne można uzyskać z analizy wzorników ColorChecker firmy Calibrite².

Delt.ae

Serwis delt.ae powstał w wyniku projektu unijnego i został uruchomiony w roku 2012, pozwalając wielu instytucjom na łatwe i tanie testowanie jakości wykonywanych odwzorowań cyfrowych. Serwis od wielu lat nie jest jednak rozwijany, np. w odniesieniu do wzorników firmy X-rite/Calibrite. Dane dla tych, chyba najpowszechniej używanych, wzorników nie zostały uaktualnione pomimo tego, że zmiany w ich kolorystyce wprowadzono w listopadzie 2014 roku³. Ponadto strona delt.ae znajduje się pod kontrolą prywatnej firmy Picturae, która w każdej chwili może ją wyłączyć⁴. Picturae jest holenderską firmą specjalizującą się w usługach digitalizacyjnych⁵.

Image Science Associates

Wzorniki produkowane przez amerykańską firmę ISA powszechnie uważane są za najbardziej precyzyjne i – w odróżnieniu od wzorników Calibrite – przechodzą bardzo rygorystyczną kontrolę jakości. Ponadto dzięki integracji na pojedynczym wzorniku całego pakietu testów przestrzennych pozwalają na wszechstronne sprawdzanie odwzorowań cyfrowych. Poza weryfikacją wierności kolorystycznej możliwa jest za ich pomocą między innymi kontrola intensywności oświetlenia i jakości odwzorowania detalu. Jednak cena ich zakupu może być zaporowa dla mniejszych instytucji, zwłaszcza wobec

1 Istnieją alternatywy komercyjne, np. niemiecka firma Image Engineering, producent wzorników UTT i oprogramowania iQ-Analyzer, jednak nie omawiam ich w tym artykule, koncentrując się na darmowych rozwiązaniach.

2 Przed 2021 rokiem – X-Rite, przed 2006 rokiem – Gretag-Macbeth – podstawowy dwudziestoczeropółowy wzornik ma prawie 50 lat historii.

3 <https://babelcolor.com/colorchecker.htm> (dostęp: 19 IV 2023).

4 Przewidywania te okazały się prorocze, gdyż już po przesłaniu niniejszego tekstu do redakcji strona „delt.ae” utrzymywana przez firmę Picturae został wyłączona dnia 31 grudnia 2023 roku, a jej serwery zamknięte (przypis red.).

5 <https://picturae.com/about-picturae/> (dostęp: 20 I 2025).

konieczności regularnej wymiany wzorników po kilku latach użytkowania⁶.

W tekście przedstawiam trzy możliwości, jeśli chodzi o oprogramowanie oraz staram się omówić sposoby wykonywania testów przestrzennych w oparciu o klasyczne wzorniki dwudziestoczeropółowe.

Ograniczam również dyskusję do wytycznych FADGI oraz Metamorfoze jako tych rozpropagowanych przez serwis *delt.ae*. Zdobywająca popularność w muzeach europejskich norma ISO 19264 jest normą płatną⁷, co sprawia, że nie uwzględniam jej w niniejszym artykule, w którym prezentowane są darmowe programy.

OpenDICE

Pierwszą z propozycji jest oprogramowanie OpenDICE⁸ tworzone przez amerykańską Bibliotekę Kongresu⁹.

OpenDICE jest narzędziem pomiarowym umożliwiającym instytucjom kultury pomiar zgodności z wytycznymi FADGI¹⁰ w zakresie digitalizacji materiałów archiwalnych. Jest to najbardziej kompletny i rozbudowany program z proponowanych.

OpenDICE zostało opracowane jako alternatywa dla programu DICE, narzędzia stworzonego przez amerykańską firmę ISA w ramach rozwiązania o nazwie GoldenThread – służącego do pomiarów i analizy zgodności z wytycznymi FADGI¹¹.

OpenDICE jest oprogramowaniem otwartoźródłowym na licencji BSD¹², co oznacza, że jest dostępne do pobrania i używania za darmo, a także może być modyfikowane i rozwijane przez społeczność użytkowników.

6 Koszt podstawowego zestawu u producenta w 2024 r. to 1535 USD (*Device Level Target* oraz *Object Level Targets*); <https://www.imagescienceassociates.com/targets.html> (dostęp: 28 V 2024).

7 194 CHF. Ponadto odwołuje się do wielu innych norm, tak więc, aby prawidłowo ją wdrożyć, trzeba wydać wielokrotność tej sumy; <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19264:-1:ed-1:v1:en> (dostęp: 28 V 2024).

8 <https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-OpenDice.html> (dostęp: 19 IV 2023).

9 https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/OpenDICE/OpenDICE_manual_v2.6.docx (dostęp: 19 IV 2023).

10 Wytyczne FADGI (ang. *Federal Agencies Digital Guidelines Initiative*) są systemem zaleceń tworzonych w USA od roku 2007 i mającym na celu wypracowanie powszechnie uznawanych procedur stosowanych przy tworzeniu dokumentacji fotograficznej. Mają zastosowanie głównie do obiektów płaskich. Ostatnie, 3 wydanie, zostało opublikowane w maju 2023 r.; <https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-technical.html> (dostęp: 28 V 2024).

11 Golden Thread nie jest w Polsce rozwiązaniem szerzej stosowanym, między innymi ze względu na wysoką cenę tego oprogramowania. W roku 2024 koszt licencji to 3300 USD; <https://www.imagescienceassociates.com/goldenthread.html> (dostęp: 28 V 2024).

12 BSD (ang. *Berkeley Software Distribution*) jest typem licencji używanej przez twórców oprogramowania chcących zapewnić, że efekty ich pracy są dostępne dla wielu użytkowników (przypis red.).

OpenDICE może być integrowane z innymi narzędziami i systemami zarządzania digitalizacją, co umożliwia użytkownikom łatwiejsze i bardziej efektywne zarządzanie procesem digitalizacji. Dzięki posiadaniu wersji z wierszem poleceń jest środowiskiem przyjaznym do organizowania masowego przetwarzania i analizy odwzorowań cyfrowych¹³.

Rezultaty uzyskane przez OpenDice zostały przetestowane i porównane z wynikami z komercyjnego systemu DICE oraz potwierdzone jako wiarygodne. Oczywiście wynik analizy jest adekwatny do jakości danych wejściowych. Wzorniki powinny być w dobrym stanie i zmierzone tak, by wysoka jakość osiągniętego odwzorowania mogła być podstawą do szczegółowej analizy porównawczej.

OpenDICE wspiera wiele typów wzorników, m.in.: ColorChecker SG, GoldenThread Device Level (DICE), GoldenThread Object Level mały (ObjectDICE small), FADGI 19264, IT8.7/1 i 2, UTT. Należy zwrócić uwagę na brak wsparcia w tym systemie dla rodziny wzorników ColorChecker Classic z 24 polami¹⁴.

Każdy test można przeprowadzić, biorąc jako cel określony poziom FADGI, 4 gwiazdki (domyślnie), 3, 2 lub 1. Należy także określić z jakiego profilu FADGI mają zostać pobrane parametry do przeprowadzenia oceny (co przekłada się na różnice w wartościach granicznych dla poszczególnych parametrów)¹⁵. Od wersji 3.x program wspiera wytyczne FADGI 2023. Ponadto można samemu w odpowiednich plikach konfiguracyjnych zmienić właściwe oczekiwane wartości, np. ΔE , balansu bieli czy wyostrzania.

Wybór wzornika oznacza wybór odpowiedniego pliku konfiguracyjnego dotyczącego danego wzornika. Dane referencyjne należy wymienić na dane zmierzone z posiadanego wzornika dla uzyskania najlepszego pomiaru faktycznego¹⁶. Pliki mogą być w formacie Excel lub tekstowym. Dane kolorystyczne podaje się w $L^*a^*b^*$ ¹⁷ oraz D (Density – gęstość optyczna) dla szarości.

13 Autor artykułu podkreśla tutaj, że dzięki swojej budowie oprogramowanie OpenDice można stosunkowo łatwo obudować skryptami automatyzującymi niektóre działania, co ma duże znaczenie przy przetwarzaniu dużych ilości plików (przypis red.).

14 Rodzina ColorChecker Classic to wzornik z 24 polami (w tym 6 w skali szarości) w różnych wielkościach: Classic, Mini, Nano, XL, Mega; <https://calibrite.com/us/product-category/capture-solutions/> (dostęp: 19 IV 2023).

15 <https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-technical.html> (dostęp: 19 IV 2023).

16 Producenci certyfikowanych wzorników barwnych podają fabryczne wartości barwne dla poszczególnych pól. Jeżeli jednak zależy nam na bardzo precyzyjnym pomiarze, powinniśmy zweryfikować te wartości na posiadanym przez nas egzemplarzu wzornika lub zlecić taką certyfikację podmiotowi zewnętrznemu (przypis red.).

17 $L^*a^*b^*$ – to metrologiczny model przestrzeni barw opisywanej przez trzy parametry (L – jasność barwy oraz wartości a i b opisujące wzajemny stosunek udziału barwy zielonej do czerwonej i niebieskiej do żółtej), (przypis red.).

Pliki zawierające zdjęcia wzorców barwnych muszą być dopasowane do wybranego typu wzornika, w przeciwnym wypadku zostaną odrzucone przez program. W obecnych wersjach OpenDICE wspiera tylko obrazy o poprawnej orientacji – z dopuszczalnym odchyleniem do 5 stopni.

Dla najważniejszych typów wzorników oprogramowanie OpenDICE automatycznie rozpoznaje odpowiednie pola, ale generalnie zalecane jest manualne wybranie czterech rogów wzornika. Dzięki temu analiza będzie szybsza i bardziej precyzyjna. Jeśli rozmieszczenie rozpoznanych pól nam nie odpowiada, można je ręcznie przesunąć.

Kiedy jesteśmy usatysfakcjonowani rozmieszczeniem pól, rozpoczyna się analiza. Może ona zająć nawet kilka minut – w zależności od złożoności wzornika i wydajności naszego komputera.

Wyniki prezentowane są w dwóch oknach dla kolorów i trzecim dla analizy przestrzennej.

Okno dokładności koloru przedstawia wyniki testów: luminancja, dE 2000, dokładność rejestracji koloru (odpowiada poprawności rejestracji kanałów barwnych z tabeli FADGI), podsumowanie.

Luminancja (L^*) pokazuje różnicę między wynikiem pomiaru a wartością testowaną. Delta E prezentuje parametr dE 2000 dla wszystkich pól z porównaniem średniej, mediany z oczekiwanymi rezultatami wynikającymi z dobranego wcześniej profilu (domyślnie *Bound Volumes: General Collections*) i jakości (domyślnie 4 gwiazdki). Dokładność rejestracji koloru jest obliczana tylko dla wzorników GoldenThread. Podsumowanie obejmuje wyniki zebrane w jednej liście tekstowej globalne i dla indywidualnych pól.

Okno analizy tonalności przedstawia wyniki testów: krzywe OECF¹⁸, Różnice, Balans bieli, Jednorodność, Szum, Podsumowanie.

Krzywe OECF prezentują krzywe dla RGB i luminancji. Różnice przedstawiają precyzyjnie, jak krzywe OECF odbiegają od oczekiwanych. Balans bieli pokazuje, jak balans bieli w polach szarości odbiega od wartości oczekiwanych. Jednorodność ukazuje, jak jednolite jest oświetlenie na powierzchni całego wzornika – testowanie nie jest możliwe dla wzorników ColorChecker. Zakładka szum wskazuje wartości szumu dla pól szarości. Podsumowanie działa tak samo jak w poprzednim oknie.

Niektóre wzorniki umożliwiają testy przestrzenne. Są to między innymi wzorniki GoldenThread i UTT¹⁹. Ostatnie okno pokazuje okno z ich wy-

¹⁸ OECF – Opto Electronic Conversion Function – pozwala ocenić jakość oświetlenia w poszczególnych segmentach skali szarości.

¹⁹ UTT (ang. *Universal Test Target*) jest wzornikiem opracowanym w roku 2009, a następnie udostępnionym na zasadach otwartej licencji, dzięki czemu może być produkowany przez różne podmioty. Dla przykładu, wersja o formacie A4, oferowana przez firmę Digital Transitions, a produkowana przez Image Engineering, kosztuje 819 USD; <https://heritage-digitaltransitions.com/product/universal-test-targets-and-software-utt/> (dostęp: 28 V 2024).

nikami – wyniki testów SFR i efektywności próbkowania w różnych rejonach obrazu: środku i czterech rogach.

RIPT

*Rijksmuseum Image Performance Tool*²⁰ to arkusz Excela przygotowany przez holenderskie Rijksmuseum w celu pomiaru jakości wykonanego zdjęcia. Wspiera wyłącznie wzornik ColorChecker Digital SG²¹, ale ze względu na zastosowaną platformę warto przedstawić to rozwiązanie jako inspirację do tworzenia własnych niezależnych rozwiązań. Nie przeprowadza analizy kolorów sfotografowanego wzornika, ale służy do wizualizacji pomiarów dokonanych np. przez serwis delt.ae.

Celem RIPT jest porównanie zmierzonych wartości LUT²² ze stosowanego wzornika oraz wartości uzyskanych w mierzonej pliku. Autorzy wielokrotnie podkreślają konieczność użycia do mierzenia spektrofotometru²³ ColorChecker Digital SG, co jest wnioskiem płynącym z wielu eksperymentów z tym rodzajem wzornika²⁴.

Narzędzie pozwala na zmierzenie: parametrów ekspozycji, iluminacji, OECF, modulacji wzmocnienia, dE 1976 i dE 2000 oraz balansu bieli i składników odbicia.

Na samym początku trzeba wypełnić plik z danymi zmierzonymi spektrofotometrem z wzornika, jakim się posługujemy. Są to dane, które zgodnie z instrukcją należy weryfikować dwa razy do roku. Następnie wypełniamy dane z fotografowanego wzornika. Jest to 140 pól, ale warto skorzystać z pliku CSV generowanego przez serwis delt.ae²⁵, który można pobrać po wczytaniu zdjęcia do analizy. Link do pobrania pliku znajduje się w prawym dolnym rogu strony.

Wynik otrzymujemy natychmiast w zakładce *general overview*. Są tam wyniki ogólne dla wytycznych Metamorfoze²⁶ oraz FADGI razem z kolorystyczną oceną, czy wynik jest pozytywny (zielony), czy negatywny (czerwony), OECF, modulacją wzmocnienia. Dwa ostatnie w postaci

20 <https://2and3dmagazine.rijksmuseum.nl/23d-photography-2022/introduction> (dostęp: 21 IV 2023).

21 <https://calibrite.com/pl/product/colorchecker-digital-sg/> (dostęp: 21 IV 2023).

22 LUT (ang. *Look Up Table*) można opisać jako predefiniowany filtr obrazu (przypis red.).

23 Spektrofotometr to „(...) urządzenie do pomiaru barwy, które świeci wiązką światła i rejestruje ilość światła odbitego lub przepuszczonego w celu ilościowego określenia barwy” (ze strony firmy X-rite). Więcej informacji pod linkiem: <https://www.xrite.com/pl-pl/blog/what-does-a-spectrophotometer-measure>.

24 <https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-021-00536-x> (dostęp: 21 IV 2023).

25 Celem jest odejście od tego serwisu, ale o tym więcej w kolejnej części.

26 https://www.metamorfoze.nl/sites/default/files/documents/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines_1.0.pdf (dostęp: 21 IV 2023).

wykresów. W kolejnych zakładkach znajdują się wyniki szczegółowe dla dE 1976 i dE 2000.

RIPT nie określa jasno, który profil FADGI oficjalnie jest testowany, ale dobór wartości krytycznych wskazuje na profil *Prints and photographs*²⁷.

deltae.py

Trzecią możliwością jest *deltae.py*²⁸. Jest to program mojego autorstwa, działający wyłącznie z wiersza poleceń. Jest rozprowadzany na otwartej źródłowej licencji MIT²⁹.

Program jest w trakcie rozwoju i wiele będzie się zmieniać, ale podstawowe funkcjonalności pozwalają na ocenę dE i zgodności ze wskazówkami FADGI.

Program wspiera wzorniki:

- rodzina ColorChecker: Classic, Mini, Nano (także w wersji dwóch rzędów – szarości i BGRYCM³⁰), w chwili obecnej (5 VII 2024) nie wspiera ColorChecker Digital SG,
- rodzina GoldenThread: Device Level Target, wszystkie trzy rozmiary Object Level Target.

Program wspiera przekazanie wzornika w czterech podstawowych orientacjach – S, N, W, E (czyli uwzględnienie obrotu co 90 stopni). Oznacza to, że np. w przypadku wzornika ColorChecker szary rząd może być na dole, po stronie lewej, prawej czy na górze. W planach jest automatyczne rozpoznawanie orientacji, obecnie należy pozycję zadeklarować przez opcję w linii poleceń (domyślnie szary rząd na dole).

Deltae.py korzysta z zadeklarowanych przez producentów wartości pól kolorystycznych, w przypadku zapotrzebowania rozszerzenie o dane własne jest jak najbardziej możliwe.

System rozpoznawania pól oparty jest o wartości procentowe położenia pól w pliku. Jest to podejście zainspirowane przez ArgylCMS³¹.

Zaletą jest możliwość łatwego tworzenia własnych map pól. Na przykład można wzornik ColorChecker pociąć na fragmenty i zamiast prostokątnego kształtu zasłaniającego obiekt stworzyć długi, ale wąski wzornik, który łatwo położyć obok fotografowanego obiektu³².

27 https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI%20Federal%20Agencies%20Digital%20Guidelines%20Initiative-2016%20Final_rev1.pdf, s. 33 (dostęp: 21 IV 2023).

28 <https://github.com/vvizzo/deltae> (dostęp: 21 IV 2023).

29 <https://opensource.org/license/mit/> (dostęp: 22 IV 2023).

30 Blue – Green – Red – Yellow – Cyan – Magenta (niebieski, zielony, czerwony, żółty, cyjan, magenta).

31 <https://www.argyllcms.com/> (dostęp: 21 IV 2023).

32 Tak w swoim czasie postępował Zamek Królewski w Warszawie.

Wadą jest konieczność precyzyjnego kadrowania wzornika przed przekazaniem do analizy przez program:

- ColorChecker Classic i Mini do białych znaczników w rogach; w przypadku testowania wartości połówkowych należy przeciąć dodatkowo + w środku wzornika,
- ColorChecker Nano do fizycznych granic wzornika; w przypadku testowania połówki przycięcie do granic pól kolorystycznych,
- GoldenThread Object Level duży i średni należy przyciąć przy zewnętrznej żółtej granicy,
- GoldenThread Device Level i Object Level mały – wzdłuż czarnej granicy.

Przykład użycia programu to:

```
| deltae.py -c cc24 -o S testfile.tif
```

W odpowiedzi program utworzy dwa pliki. W tekstowym będzie informacja na temat danych kolorystycznych, podstawowe dane na temat sprzętu z metadanych EXIF oraz krótkie podsumowanie wybranych parametrów kolorystycznych z metodologii FADGI.

```
[05-29 08:13 /cygdrive/c/Users/xxxxxxxxxxx/Desktop]$ deltae.py cc_test.tif
A1: Lab - 33.963, 20.162, 16.321, RGB - 103.71, 68.86, 58.59, dE2k - 4.811
A2: Lab - 58.774, 36.137, 56.459, RGB - 190.21, 113.43, 48.25, dE2k - 3.448
A3: Lab - 27.113, 13.167, -54.772, RGB - 34.52, 63.34, 146.72, dE2k - 3.802
A4: Lab - 89.458, 0.251, 1.501, RGB - 225.84, 224.58, 221.99, dE2k - 4.168
B1: Lab - 66.189, 19.352, 17.450, RGB - 187.62, 146.84, 130.83, dE2k - 1.253
B2: Lab - 39.991, 6.439, -53.067, RGB - 61.72, 94.71, 178.68, dE2k - 6.144
B3: Lab - 52.988, -38.492, 34.215, RGB - 94.93, 142.17, 70.65, dE2k - 1.744
B4: Lab - 81.416, 0.190, 0.338, RGB - 202.16, 201.63, 201.14, dE2k - 1.134
C1: Lab - 50.142, -4.408, -31.606, RGB - 94.94, 122.87, 170.43, dE2k - 3.839
C2: Lab - 50.616, 48.635, 20.571, RGB - 174.06, 81.21, 89.20, dE2k - 2.142
C3: Lab - 41.036, 52.749, 32.820, RGB - 152.63, 50.19, 50.64, dE2k - 2.250
C4: Lab - 69.915, 0.365, -0.078, RGB - 170.40, 169.78, 170.13, dE2k - 2.901
D1: Lab - 37.820, -13.387, 30.502, RGB - 85.09, 95.15, 45.06, dE2k - 6.216
D2: Lab - 28.132, 23.177, -22.431, RGB - 81.14, 56.10, 100.36, dE2k - 1.713
D3: Lab - 75.638, 4.620, 72.019, RGB - 209.39, 180.76, 54.44, dE2k - 4.911
D4: Lab - 51.444, 1.497, 0.473, RGB - 124.01, 121.37, 121.46, dE2k - 2.459
E1: Lab - 58.588, 11.025, -27.018, RGB - 139.16, 135.03, 185.96, dE2k - 3.518
E2: Lab - 68.898, -23.068, 57.044, RGB - 157.97, 177.95, 67.32, dE2k - 2.265
E3: Lab - 55.191, 54.892, -13.176, RGB - 184.61, 87.47, 154.07, dE2k - 4.628
E4: Lab - 33.333, 0.764, -0.546, RGB - 80.32, 79.43, 80.56, dE2k - 2.612
F1: Lab - 71.790, -32.756, -1.067, RGB - 132.74, 192.00, 176.42, dE2k - 1.121
F2: Lab - 67.412, 20.060, 69.336, RGB - 200.86, 148.30, 40.46, dE2k - 3.328
F3: Lab - 52.320, -31.126, -39.446, RGB - 37.82, 140.46, 189.52, dE2k - 5.081
F4: Lab - 16.201, 1.152, -0.179, RGB - 45.49, 44.11, 44.82, dE2k - 3.415
```

Filename: cc_test.tif

Author: -

Camera: NIKON CORPORATION NIKON D810 (8024125)

Lens: Nikon AF-S VR Micro-Nikkor 105mm f/2.8G IF-ED

FADGI2023: prints, photographs, maps, posters, paintings, other 2D art

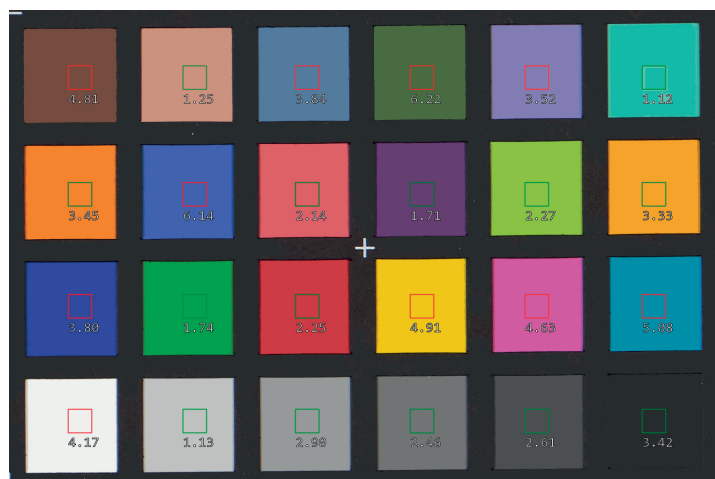
DeltaE 2000: 3.288 ***

```

Filetype: TIFF ****
Bit depth: 16 16 16 ****
Color profile: Adobe RGB (1998) ****
Color mode: RGB ****
Tone response: 5.732 *
White balance: 4.168 **
Lightness uniformity: 2.801% ****
Color accuracy: 5.613 ***

```

Powstanie też plik graficzny w formacie JPG z wizualnym określeniem, które pola są w porządku, a które nie – odpowiednio: zielone i czerwone ramki.



il. 1

Graficzny wynik działania programu deltae.py

```

Filename : cc_test.tif
Author : -
Camera : NIKON CORPORATION NIKON D810 (8024125)
Lens : Nikon AF-S VR Micro-Nikkor 105mm f/2.8G IF-ED

```

```

FADGI2023: prints, photographs, maps, posters, paintings, other 2D art
DeltaE 2000: 3.288 ***
Filetype: TIFF ****
Bit depth: 16 16 16 ****
Color profile: Adobe RGB (1998) ****
Color mode: RGB ****
Tone response: 5.732 *
White balance: 4.168 **
Lightness uniformity: 2.801% ****
Color accuracy: 5.613 ***

```

2024-05-29, deltae.py, Mikołaj Machowski 2024

Docelowo program ma być częścią analizy całych plików obrazów, gdzie nie trzeba będzie kadrować plików do wzorników, tylko będą one automatycznie wykrywane.

Na zakończenie opisów tych trzech rozwiązań trzeba zwrócić uwagę na niską przyjazność interfejsu użytkownika darmowych rozwiązań. OpenDICE tkwi korzeniami w latach dziewięćdziesiątych XX wieku, RIPT to arkusz Excel ze wszystkimi jego wadami, a delta.py jest aplikacją wiersza poleceń – choć może stać się sercem systemu z bardziej

przyjazną twarzą. Wszystkie one wymagają od użytkownika większego zaangażowania niż strona internetowa.

Rozdzielczość zdjęcia a ColorChecker

Pisząc o rozdzielczości zdjęcia, należy mieć na uwadze dwa znaczenia tego terminu.

Pierwszy to rozdzielczość uzyskana (*obtained sampling rate*). Mierzy się ją przy pomocy parametru MTF – *Modulation Transfer Function* – co pozwala na uzyskanie informacji o tym, jak wiele pojedynczych punktów może być rozróżnionych na odcinku o danej długości (na przykład 300 punktów na cal, czyli na 25,4 mm). Jest to możliwe do uzyskania tylko na bardzo precyzyjnie wydrukowanych wzornikach, takich jak m.in. GoldenThread lub QA62. Nie jest możliwe zbadanie tego parametru na wzornikach ColorChecker lub na wzorach wydrukowanych na zwykłych drukarkach³³.

Drugim znaczeniem jest rozdzielczość deklarowana (*claimed sampling rate*). Jest to po prostu ilość pikseli, jaką udało się uzyskać na danym odcinku. Jednak w takim wypadku nie znamy jakości tych pikseli i nie wiemy, czy za ich pomocą zostały zapisane wartościowe informacje. Ten parametr możemy jednak obliczyć ze wzorników ColorChecker, natomiast sposób sprawdzenia jakości tej rozdzielczości przedstawię w ostatniej części artykułu.

Mimo że na wzornikach ColorChecker jest miarka milimetrowa, to rzadko jest wykorzystywana do mierzenia rozdzielczości.

Spotkałem się z opinią użytkowników, że nie jest ona dobrze skalibrowana. Po testach na wielu egzemplarzach uważam jednak, że nie jest to prawda. Miarka jest wystarczająco dobrze skalibrowana, by dać pojęcie o rozdzielczości wykonanego zdjęcia. Wyjątkiem jest błąd producenta na wzornikach Digital SG, gdzie nie jest wydrukowany znacznik przy 0 i w związku z tym to, co wygląda na pierwszy centymetr miarki, ma w rzeczywistości 9 mm. Jednak nawet na tych samych wzornikach oznaczenia poszczególnych milimetrów są w odpowiedniej odległości od siebie. Problemy mogą częściowo wynikać z tego, że sposób drukowania miarki nie pozwala na bardzo precyzyjny pomiar. Jest to potęgowane tym, że nie zawsze wzornik jest umieszczony wystarczająco precyzyjnie w odpowiedniej strefie głębi ostrości – wszak chodzi głównie o kolory – i jest on czasami lekko rozmyty, co wzmacnia przekonanie o bezużyteczności tego narzędzia. Jest to przypadek samospełniającej się przepowiedni. W przypadku wzorników GoldenThread mamy wsparcie dla pomiarów parametrów przestrzennych, ale konieczne jest odpowiednie ustawienie ostrości na wzornik. Prowadzi to do prostego wniosku, że jeżeli chcemy analizować parametry przestrzenne, musimy dbać o to, by wzornik (niezależnie od jego typu) mieścił się w głębi ostrości wykonanego zdjęcia.

33 W czasie dyskusji padła taka propozycja z Sali, jednak w ocenie autora nie jest możliwe uzyskanie takiej jakości wydruku tzw. przekoszonej krawędzi, by uzyskać miarodajne wyniki badania MTF.

Aby zmierzyć rozdzielczość przy pomocy ColorCheckera należy np. w Adobe Photoshop przy pomocy narzędzia miarka na odpowiednio powiększonym obrazie (300–400% wystarczy) zaznaczyć odcinek między np. lewym bokiem znacznika długiego – pełnego centymetra – i odpowiednim bokiem kolejnego znacznika. Na ilustracji jest to dystans 240 pikseli. Z uwagi na to, że miarka jest centymetrowa, jest to parametr ppcm (*pixels per centimeter*). *Pixels per inch* otrzymujemy mnożąc uzyskaną wartość przez 2,54 i w tym wypadku otrzymujemy 609,6 ppi.

Dokładność zdjęcia a ColorChecker

Wzornik ColorChecker nie posiada specjalistycznych pól do badania parametru MTF, a wykorzystanie istniejących nie pozwala na testowanie tego parametru bezpośrednio. Jednak jest metoda umożliwiająca porównanie ostrości zdjęć przedstawiających to samo odwzorowanie. Jest to seria przekształceń zbliżonych obrazów, których ostateczny wynik liczbowy umożliwi stwierdzenie, które z serii wykonanych zdjęć jest najbardziej ostre. Jest to wersja metody wykrywania kontrastu, stosowanej np. w aparatach fotograficznych.

Metoda GLS

Przekształcenia te polegają na lekkim rozmyciu metodą Gaussa dla usunięcia efektów szumów. Szumy mają ostre granice i zaciemniają obraz. Następnie należy wykonać przekształcenie konwolucją Laplace’a³⁴ i zbadać jakość krawędzi, analizując dewiancję standardową uzyskanego pliku.

Do zaprezentowania metody użyję otwartoźródłowego oprogramowania Image Magick³⁵. Podobne funkcje mają inne programy i biblioteki do komputerowej analizy obrazu.

Rozpatrując idealny plik (utworzony w programie graficznym) na wzór ColorCheckera:



il. 2

Idealny ColorChecker

```
magick ideal_cc.tif -blur 5 blurred5_cc.tif
```

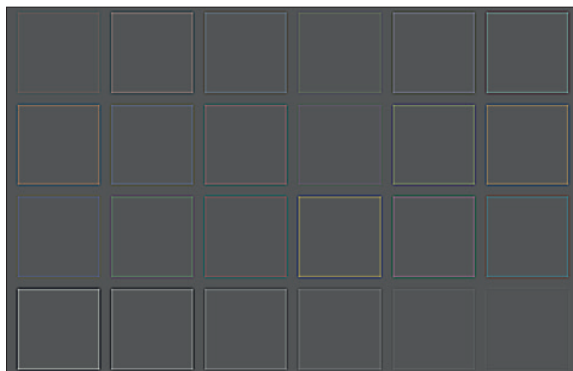
34 Historia użycia konwolucji Laplace’a w tym celu ma bardzo długą historię, np. L. S. Davis, *A survey of edge detection techniques*, „Computer Graphics and Image Processing”, vol. 4, 1975, s. 248–270; ([https://doi.org/10.1016/0146-664X\(75\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0146-664X(75)90012-X)).

35 <https://imagemagick.org/> (dostęp: 21 IV 2024).

Rozmycie jest bardzo subtelne, ale wystarczy, by zniwelować skutki ewentualnych szumów³⁶.

Następnie konwolucja Laplace'a:

```
magick blurred5_cc.tif -morphology Convolve Laplacian:0 -auto-level lap_al_ideal.tif
```



il. 3

Wynik konwolucji Laplace'a na wzorniku idealnym

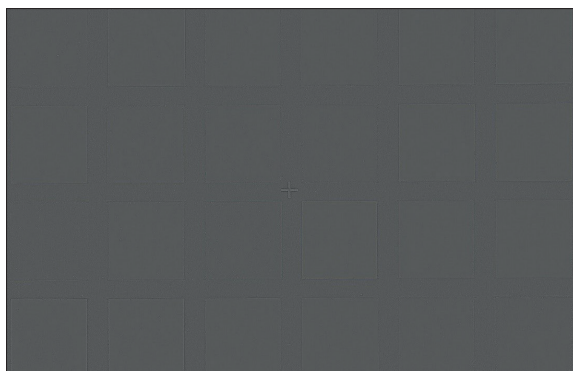
I testujemy dewiację:

```
identify - verbose lap_al._ideal.tif | grep „standard deviation” | head -1
standard deviation: 12.217 (0.0479099)
```

Polecenie head -1 pokaże tylko parametr dla całości obrazka, w przeciwnym razie zobaczymy osobno składowe dla każdego kanału, co nie jest w naszym wypadku potrzebne.

Wartość 12,217 jest w tym wypadku wartością bazową dla naszego wzornika. Jeśli rozmyjemy nasz idealny obrazek rozmyciem Gaussa o promieniu 10, a następnie powtórzymy operację, to uzyskamy wartość 13,4066 (większy oznacza gorszy).

Nie można porównywać obrazków do tego idealnego wzornika, każdy z nich ma swoją własną charakterystykę i można porównywać jedynie pomiędzy zdjęciami tego samego wzornika. Co więcej, także zmiana oświetlenia będzie miała wpływ na wydobywanie faktury wzornika. Każde włókno, niestaranność przycięcia maski na wzorniku CC będzie miało wpływ na ostateczny wynik. Na przykład tak wygląda efekt Laplace'a na realnym wzorniku CC:



il. 4

Wynik konwolucji Laplace'a na wzorniku realnym

³⁶ W tym konkretnym wypadku nie jest to konieczne, ale stosujemy metodę od początku.

Wynik bazowy dla tego wzornika i tej sceny to 4,5388.

Nie jest to uniwersalna metoda i nie da wyników absolutnych, ale może się sprawdzić przy zdjęciach seryjnych obiektów płaskich, wykonywanych w warunkach studyjnych bez zmiany oświetlenia. W takiej sytuacji może posłużyć do znalezienia ewentualnych anomalii błędów w ostrości.

Wnioski

Jeśli chodzi o ocenę kolorystyczną zdjęcia użytkownicy nie są skazani na jedno rozwiązanie (delt.ae). W artykule zaproponowałem dwa inne programy analizujące wzorniki (OpenDICE, deltae.py) oraz jedno rozwiązanie podające analizę wyników uzyskanych na przykład z oprogramowania deltae.py, a są to tylko niektóre rozwiązania dostępne na licencjach *open source*. Do analizy można też użyć parametrów z pakietu ArgylCMS.

Mniej korzystna sytuacja jest, jeśli chodzi o analizę przestrzenną. Tutaj bez profesjonalnie wykonanych wzorników, gdzie można naprawdę testować parametry MTF/SFR – jesteśmy skazani jedynie na wykrywanie anomalii, co może pomóc przy masowej analizie zdjęć, ale nie przy ocenie pojedynczego obrazu.

BIBLIOGRAFIA

- Davis L. S., *A survey of edge detection techniques*, „Computer Graphics and Image Processing”, vol. 4, 1975, s. 248–270.
- Kirchner E., van Wijk C., van Beek H., Koster T., *Exploring the limits of color accuracy in technical photography*, „Herit Science” 2021, nr 9 (57), <https://www.nature.com/articles/s40494-021-00536-x> (dostęp: 20 I 2025).

Źródła internetowe

- Argyll CMS, <https://www.argyllcms.com/> (dostęp: 20 I 2025).
- BabelColor, *The Colorchecker Pages*, <https://babelcolor.com/colorchecker.htm> (dostęp: 20 I 2025).
- Calibrite, *ColorChecker Digital SG*, <https://calibrite.com/pl/product/colorchecker-digital-sg/> (dostęp: 20 I 2025).
- Calibrite, *Rozwiązania do przechwytywania*, <https://calibrite.com/us/product-category/capture-solutions/> (dostęp: 20 I 2025).
- van Dormolen H., *Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines*, https://www.metamorfoze.nl/sites/default/files/documents/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines_1.0.pdf (dostęp: 20 I 2025).
- DT Heritage, *Universal Test Targets and iQ Analyzer software*, <https://heritage-digitaltransitions.com/product/universal-test-targets-and-software-utt/> (dostęp: 20 I 2025).
- FADGI (Federal Agencies Digital Guidelines Initiative), *Guidelines: Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials*, <https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-technical.html> (dostęp: 20 I 2025).

- FADGI (Federal Agencies Digital Guidelines Initiative), *OpenDICE and AutoSFR*, <https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-OpenDice.html> (dostęp: 20 I 2025).
- Github, *deltae.py*, <https://github.com/vvizzo/deltae> (dostęp: 20 I 2025).
- ImageMagick, *Mastering Digital Image Alchemy*, <https://imagemagick.org/> (dostęp: 20 I 2025).
- Image Science Associates, *GoldenThread*, <https://www.imagescienceassociates.com/goldenthread.html> (dostęp: 20 I 2025).
- Image Science Associates, *Targets*, <https://www.imagescienceassociates.com/targets.html> (dostęp: 20 I 2025).
- ISO, *ISO 19264-1:2021*, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19264:-1:ed-1:v1:en> (dostęp: 20 I 2025).
- Open Source Initiative, *The MIT License*, <https://opensource.org/license/mit/> (dostęp: 20 I 2025).
- Picturae, *About Picturae*, <https://picturae.com/about-picturae/> (dostęp: 20 I 2025).
- Rijksmuseum, *2and3D Photography – Practice and Prophecies*, <https://2and3dmagazine.rijksmuseum.nl/23d-photography-2022/introduction> (dostęp: 20 I 2025).
- X-Rite Color, *Spektrofotometr – do czego służy?*, <https://www.xrite.com/pl-pl/blog/what-does-a-spectrophotometer-measure> (dostęp: 20 I 2025).

SPIS ILUSTRACJI:

- s. 111 Graficzny wynik działania programu *deltae.py*, il. M. Machowski
- s. 113 Idealny ColorChecker, il. M. Machowski
- s. 114 Wynik konwolucji Laplace’a na wzorniku idealnym, il. M. Machowski
- s. 114 Wynik konwolucji Laplace’a na wzorniku realnym, il. M. Machowski

MIKOŁAJ MACHOWSKI

<https://orcid.org/0000-0003-3832-5970>

Pracuje w Dziale Informatycznym Muzeum Narodowego w Warszawie, zajmuje się wyposażaniem pracowni digitalizacyjnych w sprzęt oraz nadzorem nad jakością plików cyfrowych. Twórca oprogramowania *deltae.py* umożliwiającego weryfikację jakości tworzonych odwzorowań cyfrowych.

Opracowanie wykonano w ramach prac statutowych Muzeum Narodowego w Warszawie.

Kontakt: mmachowski@mnw.art.pl