

**ABSTRAKT:** Zbadany został wpływ zastosowania przekształcenia obrotu obrazu cyfrowego na wyniki pomiaru przestrzennej charakterystyki częstotliwościowej (*spatial frequency response*) dla wzornika QA-62. Badanie miało na celu podjęcie próby oszacowania wartości strat jakościowych wynikających z zastosowania przekształcenia pliku graficznego. W dalszej części tekstu – w celu wyboru optymalnej metody postępowania – przeanalizowano możliwości korygowania zniekształceń, które taka transformacja wprowadza.

**SŁOWA KLUCZOWE:** przetwarzanie obrazów cyfrowych, przestrzenna charakterystyka częstotliwościowa obrazów cyfrowych, dokładność odwzorowania, kontrola jakości odwzorowania, obrót obrazów cyfrowych, wyostanie obrazów cyfrowych, interpolacja obrazów cyfrowych, wzornik QA-62, sprawność próbkowania, korekta strat wynikających z obrotu, digitalizacja

# PRZEKSZTAŁCENIE OBRAZÓW CYFROWYCH POPRAZ OBRÓT I OCENA JEGO SKUTKÓW W OPARCIU O POMIAR PRZESTRZENNEJ CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ<sup>1</sup>

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1369

**Bartłomiej Karol Siedlarz**

*Zakład Narodowy im. Ossolińskich*

*Studia Wilanowskie*

t. XXXI, 2024, s. 131–153

Rocznik, E-ISSN: 2720-0116

**ABSTRACT:** The paper analyses the effect of applying a digital image rotation transformation on the spatial frequency response results for the QA-62 target. The aim of the study was to quantify the quality loss resulting from the application of the image file transformation. The author analyses the possible ways of correcting the distortions introduced by transformation in order to select the optimal one.

**KEYWORDS:** digital image processing, spatial frequency response of digital images, reproduction accuracy, reproduction quality control, rotation of digital images, sharpening of digital images, interpolation of digital images, QA-62 target, sampling efficiency, correction of rotation losses, digitisation

---

<sup>1</sup> Przestrzenna charakterystyka częstotliwościowa (SFR) to parametr, który służy do opisywania jakości odwzorowania graficznego, podobnie jak parametry takie jak funkcja przenoszenia optycznego OTF (ang. *optical transfer function*) i funkcja przenoszenia modulacji MTF (ang. *modulation transfer function*), (przypis red.).

W praktyce prowadzenia masowej cyfryzacji uzyskanie idealnego położenia obiektów na urządzeniu pozyskującym obraz zwykle nie jest możliwe<sup>2</sup>. Korekty takiej można dokonać przez powtórzenie procesu skanowania z bardziej precyzyjnie usytuowanym obiektem lub przez skorygowanie niedokładności na drodze przetworzenia pliku cyfrowego. Wykonanie korekty cyfrowej na etapie przetwarzania danych poprzez zastosowanie przekształcenia obrotu wpływa negatywnie na parametry obrazu. Niniejsze badanie miało na celu rozpoznanie skali strat jakościowych zaistniałych w wyniku przekształcenia pliku graficznego poprzez obrót i określenie prawidłowej metodologii postępowania w przypadku dokonywania korekt w obrazach cyfrowych na etapie przetwarzania. Porównanie algorytmów obrotu i wyostrzenia oferowanych przez różne typy oprogramowania pozostaje poza zakresem niniejszego tekstu i wymaga dalszych badań. Ogólnie można stwierdzić, że niezależnie od użytego oprogramowania wykonanie korekt orientacji obiektu na obrazie cyfrowym ułatwia dalsze korzystanie z obiektu i powinno być przeprowadzane w kontrolowanych warunkach z zapewnieniem właściwych referencji pomiarowych<sup>3</sup>. W przypadku, gdy przetworzone obrazy po korektach spełniają założone kryteria jakościowe, możliwe jest wycofanie z archiwizacji wersji nieprzetworzonych i utrzymywanie jedynie wersji skorygowanych, które są zoptymalizowane do dalszego wykorzystania. Znając poziom spadku jakości odwzorowania wynikający z przetwarzania przez obrót, możemy podjąć decyzję o tym, czy jest on akceptowalny i w takim przypadku zrezygnować z długoterminowego przechowywania wersji nieprzetworzonych, co ma bezpośredni wpływ na koszty utrzymania wyników realizowanych przedsięwzięć digitalizacyjnych.

Trzecia edycja standardu FADGI z maja 2023 roku dopuszcza już możliwość obrotu<sup>4</sup> w ramach przetwarzania pliku po zeskanowaniu, co jest dość rewolucyjną zmianą w porównaniu do znanego z poprzednich wersji bezwzględnego zakazu obracania oraz nakazu układania materiału na urządzeniu z dopuszczalną tolerancją  $\pm 1^{\circ 5}$ . Jest to zmiana w dobrym

2 Szczególnie, jeżeli odniesiemy ten proces do masowo wykonywanej cyfryzacji dokumentów graficznych z zastosowaniem skanerów płaskich. W sytuacji, w której wersje tekstu na zeskanowanej stronie zostały w pliku dokumentacyjnym odwzorowane ukośnie (podczas gdy w rzeczywistości powinny być odwzorowane równoległe do jednej z krawędzi odwzorowania cyfrowego), takie odwzorowanie nie jest prawidłowe i wymaga poprawienia (przypis red.).

3 Przez odpowiednie referencje rozumiemy dedykowane wzorniki (przypis red.).

4 *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Third Edition*, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2023; [https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials\\_3rd Edition\\_05092023.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI%20Technical%20Guidelines%20for%20Digitizing%20Cultural%20Heritage%20Materials_3rd%20Edition_05092023.pdf), s. 18 (dostęp: 30 XI 2023).

5 *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Creation of Raster Image Files*, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2016; [https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI Federal Agencies Digital Guidelines Initiative-2016 Final\\_rev1.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI%20Federal%20Agencies%20Digital%20Guidelines%20Initiative-2016%20Final_rev1.pdf), s. 29 (dostęp: 30 XI 2023).

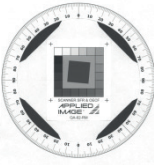
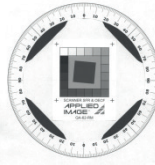
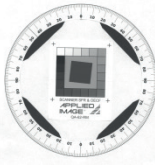
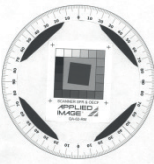
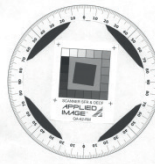
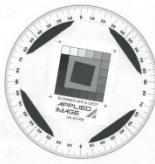
kierunku. Wprowadzenie kontroli jakości obrazów przetworzonych powoduje jednak zwiększenie nakładu pracy.

### Przygotowanie materiału testowego

Do wykonania badania konieczny jest specjalistyczny wzornik oraz urządzenie pozyskujące obraz, np. skaner płaski. W ramach prowadzonych badań zdecydowano się na zastosowanie wzornika QA-62, a obrazy testowe pozyskano przy użyciu skanera Plustek OpticBook 4800. Urządzenie to nie jest bardzo dokładne, jednak dla obrazów o rozdzielczości 300 ppi<sup>6</sup> możliwe jest uzyskanie na nim sprawności próbkowania na poziomie 100% oraz maksymalnej amplitudy charakterystyki częstotliwościowej na poziomie 1, co stanowi wystarczającą podstawę do przeprowadzenia pomiaru skutków wykonania przekształcenia obrotu oraz wyostrzenia.

Użyte w teście wzorniki zeskanowane zostały w kilku pozycjach o różnych kątach obrotu wynoszących od 0° do 20°. Do badania zostały wybrane obrazy, na których narzędzie pomiarowe *delt.ae*<sup>7</sup> było w stanie rozpoznać wzornik, co ograniczyło maksymalny kąt nachylenia do 3,5° i dało wynikowo zestaw pięciu obrazów o kątach: 0°, 0,2°, 1,32°, 2,38° i 3,5°. Do pomiaru wpływu przekształcenia obrotu został dołączony także jeden dodatkowy obraz, z odrzuconych w pierwszej fazie, o kącie 9,65°, co daje zestaw sześciu obrazów testowych.

Tabela 1. Obrazy testowe

0°	0,2°	1,32°
		
2,38°	3,5°	9,65°
		

6 Parametr „ppi” (ang. *pixels per inch*) określa liczbę pikseli (najmniejszych elementów, z których składa się obraz cyfrowy) opisujących każdy cal (czyli 25,4 mm) długości odwzorowywanego obiektu (przypis red.).

7 Instrukcja narzędzia *delt.ae* określa tolerancję obrotu wzornika na poziomie  $\pm 2^\circ$ ; <https://deltae.picturae.com/wiki?title=DeltaE:Input> (dostęp: 30 XI 2023). Zapisy tej instrukcji sugerują, że przekroczenie tych wartości może powodować przekłamanie wyników testu. Wyniki uzyskane w badaniu pozwalają określić, że potencjalne przekłamanie dla obrazów o kącie obrotu wykraczającym poza normatywny limit zdają się nie odbiegać znacząco od wyników obrazów, które tego limitu nie przekroczyły. Przymuszalnie tolerancja oprogramowania jest większa niż sugeruje to instrukcja.

Wzornik obracany był na szybie urządzenia skanującego manualnie przy orientacyjnym odniesieniu do wskazań kątomierza, przez co nie udało się uzyskać równych wartości interwału kąta obrotu między próbkami. Nie powinno to jednak wpływać negatywnie na ocenę przyjętej metodologii badania. W praktyce prowadzenia prac cyfryzacyjnych niedokładność położenia obiektu na urządzeniu może przekraczać 2°, dlatego do badania dopuszczony został szerszy zakres 0–9,65°, który powinien być reprezentatywny dla większości przypadków. Przetworzenia zostały wykonane przy użyciu oprogramowania XnView w wersji 2.51. Zastosowano udostępnione w tym oprogramowaniu narzędzie do wykonania korekty obrotu obrazów, narzędzie zmiany rozmiaru obrazu z użyciem interpolacji dwusześciennej (filtr Mitchella), zarówno do powiększenia, jak i zmniejszenia, oraz filtr uwydatniania krawędzi, jako metodę wyostrzenia obrazu.

### Wzornik QA-62

Pomiary parametrów obrazu zostały wykonane przy użyciu wzornika QA-62, który służy do analizy przestrzennej charakterystyki częstotliwościowej obrazów cyfrowych (ang. *spatial frequency response*). Metodologia działania pomiarów wzorników tego typu została opisana w standardzie ISO 12233:2023: *Photography – Electronic still picture imaging – Resolution and spatial frequency responses*<sup>8</sup>. Parametry ważne w aspekcie tego badania to rozdzielczość wyrażona w pikselach na cal (ppi, ang. *pixel per inch*), sprawność próbkowania wyrażona w procentach, wskaźniki SFR50, SFR10 oraz maksimum amplitudy charakterystyki częstotliwościowej, wyrażone liczbami rzeczywistymi<sup>9</sup>. Wszystkie obrazy pomiarowe użyte w testach zostały wykonane w skali szarości, co eliminuje jakiegokolwiek informacje o kolorze. Aspekty barwne obrazu pozostają bowiem poza zakresem badania i nie są istotne dla przedstawionych w tym tekście wniosków<sup>10</sup>.

### Pomiar wzorników przed wykonaniem przekształcenia obrotu

Przygotowane obrazy testowe zostały załadowane do narzędzia *delt.ae*, uzyskane wyniki pomiaru przedstawia tabela 2.

8 ISO 12233:2023: *Photography – Electronic still picture imaging – Resolution and spatial frequency responses*; <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12233:ed-4:v1:en> (dostęp: 30 XI 2023).

9 Więcej na temat tych parametrów można znaleźć w standardzie FADGI: *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Third Edition. Federal Agencies Digital Guidelines Initiative*, 2023; [https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI\\_Technical\\_Guidelines\\_for\\_Digitizing\\_Cultural\\_Heritage\\_Materials\\_3rd\\_Edition\\_05092023.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Technical_Guidelines_for_Digitizing_Cultural_Heritage_Materials_3rd_Edition_05092023.pdf), s. 15 (dostęp: 30 XI 2023).

10 Pomimo tego, że wzornik QA-62 pozwala także na przeprowadzenie tego typu testów.

Tabela 2. Wyniki pomiaru obrazów nieprzetworzonych

Kąt obrotu	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
0°	299,4	100%	0,3	0,63	1
0,2°	299,4	100%	0,3	0,61	1
1,32°	299,3	100%	0,3	0,61	1
2,38°	299,4	100%	0,3	0,62	1
3,5°	299,4	100%	0,3	0,6	1
9,65°	–	–	–	–	–

Na obrazie o kącie obrotu 9,65° wzornik nie został rozpoznany przez oprogramowanie analizujące. Pozostałe obrazy nie wykazały znaczących różnic w wynikach pomiaru. Na wszystkich obrazach, które udało się zmierzyć, wartości uzyskanych wyników są bardzo dobre. Można potraktować je jako punkt odniesienia do przeprowadzenia dalszej analizy przetwarzania.

### Pomiar wzorników po wykonaniu przekształcenia obrotu

Pierwsze przetworzenie polegało na wykonaniu jedynie przekształcenia przez obrót o kąt odpowiedni dla odchyłu od pionu każdego z indywidualnych obrazów. Otrzymane po przetworzeniu obrazy zawierają reprezentację wzornika w prawidłowej, skorygowanej pozycji. Przetworzone obrazy załadowano do narzędzia *delt.ae*, uzyskane wyniki pomiaru przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Wyniki pomiaru obrazów obróconych bez wstępnego dwukrotnego powiększenia

Kąt obrotu	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
0°	299,4	100%	0,3	0,63	1
0,2°	299,4	99%	0,24	0,51	1
1,32°	299,4	88%	0,22	0,44	1
2,38°	299,4	87%	0,22	0,44	1
3,5°	299,4	88%	0,22	0,44	1
9,65°	299,4	89%	0,22	0,44	1

Redukcja sprawności próbkowania oraz spadek wartości parametrów SFR50 i SFR10 po przekroczeniu pewnego kąta obrotu pomiędzy 0,2° i 1,32°, wskutek wykonania jedynie przekształcenia obrotu bez wstępnego powiększenia obrazu, są wyraźnie widoczne. Wartości maksimum amplitudy charakterystyki częstotliwościowej pozostają niezmiennie i nie przekraczają w żadnym z przypadków wartości 1.

## Pomiar wzorników po wykonaniu usprawnionego przekształcenia obrotu

Usprawniona metoda przekształcania obrotu zakłada wykonanie najpierw przeskalowania powiększającego dwukrotnie<sup>11</sup> rozmiar obrazu, następnie wykonanie przekształcenia obrotu i ponownego przeskalowania zmniejszającego o połowę rozmiar obrazu w celu przywrócenia go do pierwotnego rozmiaru. Przekształcone w ten sposób obrazy zostały załadowane do narzędzia *delt.ae*, uzyskane wyniki pomiaru przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Wyniki pomiaru obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu

Kąt obrotu	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
0°	299,4	85%	0,22	0,43	1
0,2°	299,4	78%	0,21	0,39	1
1,32°	299,4	79%	0,21	0,39	1
2,38°	299,4	79%	0,21	0,4	1
3,5°	299,4	79%	0,21	0,39	1
9,65°	299,4	79%	0,21	0,39	1

Zaobserwować można spadek wartości sprawności próbkowania oraz parametru SFR10<sup>12</sup> w stosunku do obrazu nieobróconego, który poddany został powiększeniu i redukcji rozmiaru. Jednocześnie stwierdzono, że wykonanie dwukrotnego powiększenia obrazu przed obróceniem i ponownej redukcji do oryginalnego rozmiaru niweluje różnice pomiędzy wszystkimi obrazami, na których wykonane zostało przekształcenie obrotu. Nie stwierdzono większych różnic w pozostałych parametrach.

11 Dla potrzeb tego badania przyjęto współczynnik powiększenia o wartości 2, jednak możliwe jest zastosowanie tej metody także dla innych współczynników powiększenia. Współczynnik 2 jest najprostszy do zastosowania, gdyż łatwo można oszacować współczynnik pomniejszenia, który służy do przywrócenia obrazu do rozmiaru pierwotnego i w tym przypadku wynosi 0,5. Przy obracaniu obrazów o dużych rozmiarach ze względu na potrzebną moc obliczeniową oraz pamięć operacyjną maszyny można przyjąć współczynniki powiększenia mniejsze niż 2, np. 1,5. Z tego samego względu współczynniki większe niż 2 mogą okazać się trudne do zastosowania przy jednoczesnym znikomym wpływie na uzyskane wyniki. Współczynniki mniejsze niż 1,5 mogą powodować dalsze niedokładności w przekształceniu obrazów. Zalecam w przypadku stosowania tej metody używanie współczynnika powiększenia o wartościach pomiędzy 1,5 a 2, ze szczególnym wskazaniem na wartość 2, jako optymalną.

12 Według FADGI jest to w zasadzie ten sam parametr, co uzyskane wyniki zdają się potwierdzać, gdyż wzajemne proporcje tych parametrów są podobne. Drobne różnice mogą wynikać z wyrażenia wartości parametru sprawności próbkowania w procentach, co może powodować niedokładności wskutek zaokrąglania. *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Third Edition*, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2023; [https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI\\_Technical\\_Guidelines\\_for\\_Digitizing\\_Cultural\\_Heritage\\_Materials\\_3rd\\_Edition\\_05092023.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Technical_Guidelines_for_Digitizing_Cultural_Heritage_Materials_3rd_Edition_05092023.pdf), s. 15.

## Wpływ obrotu na pomiar rozdzielczości

Żadne z wykonanych w badaniu przetworzeń nie wpłynęło w sposób znaczący na wynik pomiaru rozdzielczości. Można w związku z tym przyjąć, że wykonanie przekształcenia obrotu oraz interpolacji nie zaburza pomiaru rozdzielczości. Dzieje się tak wyłącznie w wypadku wykonania powiększenia i pomniejszenia do rozmiaru początkowego. Interpolacja obrazu i pozostawienie go w postaci powiększonej wykaże zwiększoną rozdzielczość zgodnie ze stopniem powiększenia. Ma to jednak negatywny wpływ na pozostałe parametry, w związku z czym określenie realnej rozdzielczości obrazu jest zadaniem bardziej złożonym niż bazowanie jedynie na wyniku pomiaru tylko tego parametru. Zagadnienie to pozostaje jednakże poza zakresem prezentowanego w tym tekście badania i wymaga odrębnego opracowania.

## Straty wskutek zastosowania obrotu

Po porównaniu wyników pomiaru obrazów obróconych bez wstępnego dwukrotnego powiększenia (tabela 3) z wynikami pomiaru obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu (tabela 4), można dojść do wniosku, że straty w sprawności próbkowania są większe w przypadku obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu. Wyniki pomiarów to jednak nie wszystko, co jest istotne podczas stosowania przekształcenia obrotu. Inspekcja wizualna pozwala dostrzec powstałe wskutek wykonania przekształcenia zmiany w obrazie, które mają wpływ na jego ogólną jakość.

Tabela 5. Prawy dolny fragment wzornika QA-62 obrazów obróconych bez wstępnego dwukrotnego powiększenia (obrazy wyostrzone dla ułatwienia obserwacji zniekształceń  $v=100$ )

0°	0,2°	1,32°
2,38°	3,5°	9,65°

W tabeli 5 zawarte zostały przykłady wpływu obrotu na zachowanie szumu obrazu. Można zaobserwować widoczne obszary o zwiększonej i zmniejszonej ostrości szumu, które tworzą zniekształcenia przypominające efekt mory. Zastosowanie usprawnionego przekształcenia

obrotu ogranicza występowanie tego efektu i pozwala uzyskać mniejsze rozbieżności pomiędzy obrazami obróconymi o różne kąty<sup>13</sup>. Wyniki usprawnionego przekształcenia zaprezentowane zostały w tabeli 6.

Tabela 6. Prawy dolny fragment wzornika QA-62 obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu (obrazy wyostzone dla ułatwienia obserwacji zniekształceń  $v=100$ )

0°	0,2°	1,32°
2,38°	3,5°	9,65°

Zaobserwowane różnice wizualne zdają się odpowiadać wynikom liczbowym otrzymanym w badaniu (tabela 3 i 4). Można zatem wywnioskować, że wykonanie interpolacji wstępnej pozwala uzyskać bardziej jednolite rezultaty przetworzenia całej serii obrazów. Aby skuteczniej zobrazować działanie usprawnionego przekształcenia obrotu, przeprowadzone zostało ono także dla sztucznego obrazu testowego.

Tabela 7. Przykład zastosowania przekształceń obrotu dla sztucznego obrazu testowego

Obraz wejściowy	Obrót o 2° bez wygładzania	Obrót o 2° bez wstępnej interpolacji	Obrót o 2° ze wstępną interpolacją (2x)

Symulacja, której wyniki przedstawia tabela 7 pozwala na określenie stopnia wpływu zastosowania przekształcenia obrotu na cechy obrazu wynikowego.

13 Co jest ważne w procesie digitalizacyjnym, gdyż dążymy do uzyskania zbliżonych efektów dla każdego z obrazów dokumentu wielostronicowego, a niedokładności losowe w położeniu obiektów na urządzeniach, a także w konstrukcji samych obiektów, powodują, że dla każdego z obrazów kąt obrotu jest określany indywidualnie.



Można stwierdzić, że dążenie do jakości uzyskanej przez wstępną interpolację obrazu ze współczynnikiem powiększenia wynoszącym 2 jest kierunkiem właściwym. Metoda ta pozwala uzyskać obraz bardziej spójny geometrycznie niż w metodzie obrotu bez wygładzania, a także bardziej jednolity w aspekcie ostrości niż w metodzie obracania bez wstępnej interpolacji. Skutkiem ubocznym jest jednak ogólne zmniejszenie ostrości obrazu.

### Korekty ubytków przez wyostrzenie

Podstawowym celem jest uzyskanie poprawy wyników testu obrazu przez wyostrzenie go tak, aby zwiększyć wartość sprawności próbkowania, a jednocześnie nie przekroczyć wartości 1 dla maksymalnej amplitudy charakterystyki częstotliwościowej. Aby ustalić optymalne parametry korekt, wykonano przekształcenie wyostrzenia obrazów testowych o kątach obrotu  $0,2^\circ$  i  $1,32^\circ$  w zakresie współczynnika wyostrzenia ( $v$ ) pomiędzy 80 a 98 z interwałem 2.

Tabela 8. Wyniki pomiaru obrazów o kącie obrotu  $0,2^\circ$  wyostrzonych w zakresie  $v$  od 80 do 98

$v$	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
80	299,5	91%	0,27	0,45	1
82	299,5	92%	0,29	0,46	1
84	299,5	93%	0,3	0,46	1
86	299,5	94%	0,31	0,47	1
88	299,5	96%	0,32	0,48	1
90	299,5	97%	0,33	0,57	1
92	299,5	98%	0,34	0,58	1,01
94	299,5	99%	0,36	0,61	1,08
96	299,5	99%	0,38	0,63	1,25
98	299,5	100%	0,41	0,67	1,6

Tabela 9. Wyniki pomiaru obrazów o kącie obrotu  $1,32^\circ$  wyostrzonych w zakresie  $v$  od 80 do 98

$v$	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
80	299,3	90%	0,28	0,45	1
82	299,3	91%	0,29	0,45	1
84	299,3	92%	0,3	0,46	1
86	299,3	93%	0,3	0,46	1
88	299,3	94%	0,32	0,47	1
90	299,3	95%	0,33	0,48	1
92	299,3	97%	0,34	0,49	1,01
94	299,3	98%	0,36	0,5	1,1
96	299,4	100%	0,41	0,52	1,61
98	299,4	100%	0,41	0,52	1,61

Wyniki obu testów wskazują na współczynnik wyostrzania  $v=90$  jako optymalny dla zastosowanego filtra przetwarzającego. Dla wyższych jego wartości maksimum amplitudy charakterystyki częstotliwościowej przekroczyło wartość 1, co powoduje, że obraz wynikowy jest przeostrozony.

## Wnioski

Wykonanie usprawnionego przekształcenia obrotu jest zawsze operacją stratną, jednak po wprowadzeniu korekt, możliwa jest częściowa niwelacja strat. Na podstawie wyników tego badania można określić poziom stratności tego przekształcenia.

Tabela 10. Zestawienie wyników pomiaru obrazu nieprzetworzonego, wyników pomiaru obrazów obróconych bez wykonania wstępnej interpolacji oraz wyników optymalnego przekształcenia dla obrazów o kącie obrotu  $0,2^\circ$  i  $1,32^\circ$

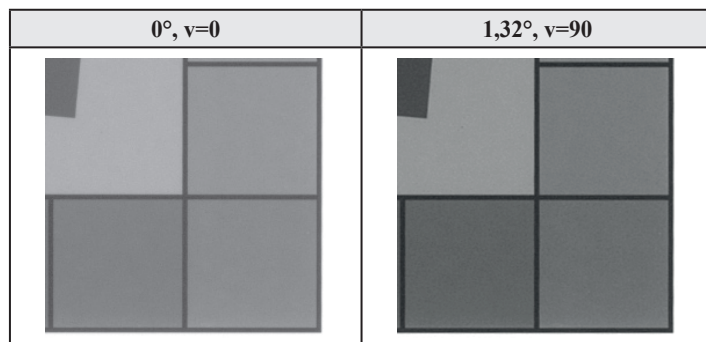
	PPI	SEFF	SFR50	SFR10	MaxSFR
<b><math>0^\circ, v=0</math></b>	299,4	100%	0,3	0,63	1
<b><math>0,2^\circ, v=0</math></b>	299,4	99%	0,24	0,51	1
<b><math>0,2^\circ, UsP, v=90</math></b>	299,5	97%	0,33	0,57	1
<b><math>1,32^\circ, v=0</math></b>	299,4	88%	0,22	0,44	1
<b><math>1,32^\circ, UsP, v=90</math></b>	299,3	95%	0,33	0,48	1

Na podstawie zaprezentowanego w tabeli 10 zestawienia można wywnioskować, że w zakresie pomiaru rozdzielczości nie zaobserwowano znaczących różnic. Straty w aspekcie sprawności próbkowania dla obrazów przekształconych usprawnioną metodą mieszczą się w zakresie od 3% do 5%. Dla parametru SFR50 zaobserwowano w obu przypadkach odchył 0,03, co stanowi 10%, a dla parametru SFR10 – odpowiednio odchył 0,06 dla kąta  $0,20$  oraz 0,15 dla kąta  $1,32$ , co mieści się w zakresie od 10% do 30%. Dla porównania zostały zestawione także wyniki badania dla obrazów obróconych bez wstępnej interpolacji.

Przetworzone w ten sposób obrazy nie osiągną jakości takiej samej jak obrazy nieprzetworzone, jednak powyższe wartości można przyjąć jako akceptowalne do wprowadzenia w procesie digitalizacji, gdyż korekty uzyskane w przedstawiony sposób prowadzą do otrzymania wyprostowanych po zeskanowaniu obrazów, które są użyteczne w dalszych elementach procesu.

Na zaprezentowanym w tabeli 11 przykładzie widać efekty uboczne zastosowanego przekształcenia. Można eksperymentalnie dobrać parametry przetwarzania w celu redukcji tych efektów indywidualnie dla każdego przypadku, jednak osiągnięcie większego stopnia dokładności odwzorowania przy jednoczesnym zbalansowaniu wszystkich mierzonych kryteriów może okazać się trudne. Dla większości zastosowań praktycznych zaprezentowana metoda może być adekwatna do uzyskania rezultatów, które można określić jako wystarczające, przy akceptowalnym poziomie strat wynikających z przekształcenia.

Tabela 11. Przykład obrazu nieprzetworzonego i obróconego o kąt  $1,32^\circ$  z zastosowaniem wstępnej interpolacji o współczynniku powiększenia 2 z wyostrzeniem  $v=90$



Selekcja optymalnego obrazu w przedstawionej w tym tekście metodzie dokonana została na podstawie wyników pomiaru. Jeżeli jednak na podstawie oglądu wizualnego obrazów po przekształceniu według optymalnej w tym badaniu metody uzna się, że pomimo uzyskania najlepszych wyników pomiaru, obraz jest za bardzo wyostrozony, można zastosować mniejszą moc filtrowania w celu osiągnięcia bardziej bezpiecznego balansu między rezultatem testu a aspektami wizualnymi obrazu.

Usprawnione przekształcenie wymaga zwiększenia mocy obliczeniowej oraz pamięci operacyjnej maszyny wykonującej te operacje, pozwala jednak na uzyskanie bardziej jednolitych efektów digitalizacji. Ze względu na obecny stan technologii w tym zakresie, jest to koszt możliwy do zaakceptowania.

Badanie zostało wykonane na obrazach o rozdzielczości 300 ppi i miało na celu ukazanie prawidłowości metody korekty. Dla obrazów o innych rozdzielczościach wzajemne stosunki otrzymanych wyników mogą być różne, jednak przypuszczalnie zwroty zmian pozostaną takie same. Kwestia ta wymaga dalszych badań. W przeprowadzonym badaniu zastosowano jeden przykładowy filtr z konkretnego oprogramowania. Filtry przetwarzające mogą mieć różne sposoby działania i dla każdego z nich konieczne jest określenie właściwych wartości współczynników wyostrozania. Uzyskane wyniki pozwalają na przypuszczenie, że dla każdego filtra wyostrażającego może istnieć zestaw parametrów, który powoduje uzyskanie poprawy wyników pomiaru obrazu przetworzonego. Określenie tych parametrów dla każdego filtra powinno być dokonywane indywidualnie.

## BIBLIOGRAFIA

- Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Third Edition*, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2023, [https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI\\_Technical\\_Guidelines\\_for\\_Digitizing\\_Cultural\\_Heritage\\_Materials\\_3rd\\_Edition\\_05092023.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Technical_Guidelines_for_Digitizing_Cultural_Heritage_Materials_3rd_Edition_05092023.pdf).
- Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials: Creation of Raster Image Files*, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2016,

[https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI Federal Agencies Digital Guidelines Initiative-2016 Final\\_rev1.pdf](https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGI_Federal_Agencies_Digital_Guidelines_Initiative-2016_Final_rev1.pdf).

Instrukcja narzędzia *delt.ae*, <https://deltae.picturae.com/wiki?title=DeltaE:Input>  
 ISO 12233:2023: *Photography – Electronic still picture imaging – Resolution and spatial frequency responses*, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:12233:ed-4:v1:en>.

## SPIS ILUSTRACJI

- s. 133 Obrazy testowe, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 135 Wyniki pomiaru obrazów nieprzetworzonych, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 135 Wyniki pomiaru obrazów obróconych bez wstępnego dwukrotnego powiększenia, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 136 Wyniki pomiaru obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 137 Prawy dolny fragment wzornika QA-62 obrazów obróconych bez wstępnego dwukrotnego powiększenia (obrazy wyostrzone dla ułatwienia obserwacji zniekształceń  $v=100$ ), il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 138 Prawy dolny fragment wzornika QA-62 obrazów obróconych po wstępnym dwukrotnym powiększeniu (obrazy wyostrzone dla ułatwienia obserwacji zniekształceń  $v=100$ ), il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 138 Przykład zastosowania przekształceń obrotu dla sztucznego obrazu testowego, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 139 Wyniki pomiaru obrazów o kącie obrotu  $0,2^\circ$  wyostrzonych w zakresie  $v$  od 80 do 98, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 139 Wyniki pomiaru obrazów o kącie obrotu  $1,32^\circ$  wyostrzonych w zakresie  $v$  od 80 do 98, il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 140 Zestawienie wyników pomiaru obrazu nieprzetworzonego, wyników pomiaru obrazów obróconych bez wykonania wstępnej interpolacji oraz wyników optymalnego przekształcenia dla obrazów o kącie obrotu  $0,2^\circ$  i  $1,32^\circ$ , il. Bartłomiej Siedlarz
- s. 141 Przykład obrazu nieprzetworzonego i obróconego o kąt  $1,32^\circ$  z zastosowaniem wstępnej interpolacji o współczynniku powiększenia 2 z wyostrzeniem  $v=90$ , il. Bartłomiej Siedlarz

## BARTŁOMIEJ SIEDLARZ

<https://orcid.org/0000-0002-3965-7144>

Kierownik Działu Digitalizacji Zakładu Narodowego im. Ossolińskich we Wrocławiu. Specjalista w zakresie przetwarzania obrazów cyfrowych, optymalizacji i kompresji, a także automatyzacji procesów. Zajmuje się badaniem wpływu przetwarzania na cechy obrazów cyfrowych, a także metodami ich oceny i kontroli jakości.

Opracowanie wykonano w ramach prac własnych autora.

Kontakt: [bartlomiej.siedlarz@ossolineum.pl](mailto:bartlomiej.siedlarz@ossolineum.pl)