

## UTICAJ PROMENE ŽIŽNE DALJINE NA POJAVU HROMATSKE ABERACIJE

### THE INFLUENCE OF CHANGING THE FOCAL LENGTH ON THE CHROMATIC ABERRATION

Iva Juretić, Ivana Jurić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

**Kratak sadržaj** – Hromatska aberacija je optički defekt koji uzrokuje da se svetlosni zraci različitih talasnih dužina fokusiraju na različite tačke duž optičke ose sočiva. Manifestuje se kao traka jedne boje na prelazima okvira oko kontrastnih ivica na fotografiji. Postoje dve vrste hromatskih aberacija: longitudinalne i transversalne. Transverzalna hromatska aberacija je ivica jedne boje koja se javlja zato što se uvećanje slike razlikuje u zavisnosti od talasne dužine. Ima tendenciju da bude daleko vidljivija od longitudinalne. Cilj ovog istraživanja je da se ispita uticaj žižne daljine na pojavu transversalne hromatske aberacije. Za potrebe eksperimenta korišćena je jedna kamera bez ogledala (Sony Alpha A1), dok su objektivni bili varijabilni. Izabrana su dva objektivna, zum (Sony 24-70mm f2.8 GM) i telefoto (Tamron 70-180 f2.8) kako bi se proverio uticaj žižne daljine na pojavu hromatske aberacije.

**Gljučne reči:** hromatska aberacija, digitalni fotoaparat, žižna daljina

**Abstract** – Chromatic aberration is an optical defect that causes light rays of different wavelengths to focus at different points along the optical axis of the lens. It is manifested as band of one color at frame transitions around contrasting edges in the photo. There are two types of chromatic aberration: longitudinal and lateral. Lateral chromatic aberration is the color fringing that occurs because the magnification of the image differs with wavelength. It tends to be far more visible than longitudinal. The aim of this research is to examine the influence of focal length on the appearance of lateral chromatic aberration. For the purposes of the experiment, we used one mirrorless camera (Sony Alpha A1), while the lenses were variable. We used Sony 24-70mm f2.8 GM and Tamron 70-180 f2.8 to check how the focal length affects its appearance.

**Keywords:** chromatic aberration, digital camera, focal length

#### 1. UVOD

Hromatska aberacija je optička mana zbog koje se svetlosni zraci različite talasne dužine fokusiraju na različitim tačkama duž optičke ose sočiva. Jedan primer pojave hromatske aberacije se može videti na slici 1.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Ivana Jurić, docent.

Posledica toga jeste da se sve talasne dužine (koje mi vidimo kao boje) vidljivog dela spektra ne prelamaju u istoj fokalnoj ravni, već ispred ili iza nje. Takođe, pošto uvećanje sočiva zavisi od talasne dužine svetlosti, tada se komponente vidljivog spektra fokusiraju na različitim delovima fokalne ravni. Ako se tačka prelamanja pomeri po horizontalnoj osi (ispred ili iza fokalne ravni) govori se o longitudinalnim (aksijalnim, uzdužnim) hromatskim aberacijama, a ako se to desi na različitim delovima fokalne ravni, onda su to transversalne (lateralne, bočne) aberacije.

Hromatske aberacije se manifestuju kao pojava traka jedne boje (najčešće svetlo plave - cijan ili crvene) na prelazima kadra oko kontrastnih ivica u kadru (npr. taman kamen, a iza njega svetlo nebo). Ove nesavršenosti rešavaju se manje - više uspešno u samom objektivu, ugradnjom više različitih konveksnih i konkavnih sočiva. Pored toga, mogu se uklanjati i softverski [1].



Slika 1. Prikaz hromatske aberacije

#### 2.1. Vrste hromatske aberacije

Postoje dve vrste hromatske aberacije:

1) *Longitudinalna (aksijalna, uzdužna) hromatska aberacija* dovodi do zamućenih boja ispred i iza tačke fokusa usled razlika u fokusnoj tački po bojama. Ova pojava je veoma primetna na periferiji veoma svetlih delova slike, ali može da se javi bilo gde na slici, a ne samo na ivicama.

2) *Transverzalna (lateralna, bočna) hromatska aberacija* dovodi do oivičenosti bojom na ivicama objekta i na periferiji rama, a izaziva je to što objektiv ima za nijansu drugačije uvećanje za različite boje. Ovi različiti nivoi uvećanja odvođe do obojenog sjaja po ivicama nekih objekata. Bitno je imati u vidu da se transversalna hromatska aberacija pojavljuje samo na ivicama okvira [1].

## 2.2. Uticajni faktori na pojavu hromatske aberacije

Uzrok za nastajanje hromatske aberacije obično leži u činjenici da indeks prelamanja svetlosti u određenom medijumu zavisi od talasne dužine. Zraci kraćih talasih dužina (recimo plave) prelamaju se više (tj. pod većim izlaznim uglom) od onih sa većom talasnom dužinom. Zraci kraćih talasnih dužina se fokusiraju bliže sočivu od zraka većih talasnih dužina (recimo crvene). Ove nesavršenosti rešavaju se manje - više uspešno u samom objektivu, ugradnjom više različitih konveksnih i konkavnih sočiva [2].

## 3. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalna merenja su imala za cilj oređivanje uticaja različitih karakteristika objektivu i žižne daljine na pojavu grešake - hromatske aberacije.

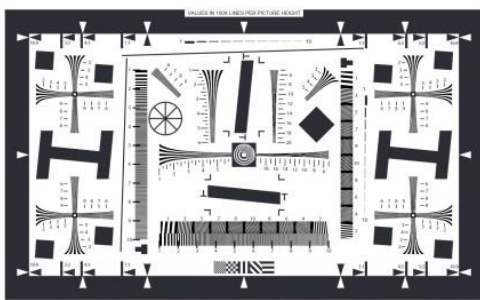
Testiranje je obavljeno u skladu sa zahtevima standarda ISO 12233 iz 2012. godine, test karte za utvrđivanje prisustva hromatske aberacije kod digitalnih fotoaparata.

Eksperiment je sproveden u šest koraka:

1. Izbor tela uređaja i objektivu
2. Izbor test karte
3. Postavka scene, izbor osvetljenja i dodatnih uređaja,
4. Snimanje test fotografija
5. Analiza i procena fotografija na greške hromatske aberacije
6. Procena rezultata

### 3.1. Test karta

Test karta ISO 12233 pogodna je za ispitivanje transversalne hromatske aberacije objektivu (slika 2). Aberacije ovog tipa najbolje se mogu izmeriti na tangencijalnim ivicama blizu stranica ili čoškova slike. Karta ISO 12233 sadrži nekoliko ivičnih područja koja su postavljena u odnosu na vertikalu pod uglom od 5 stepeni.



Slika 2. Test karta ISO 12233

### 3.2. Softver

Imatest je softver koji se koristi u najvećoj meri u industriji. Trenutno je najpopularniji programski paket za testiranje digitalnog kvaliteta fotografije u svetu. Korišćenje Imatest softvera, omogućava analiziranje raznih faktora kvaliteta fotografije.

Ovo uključuje oštrinu slike, raspon boja, šum, dinamički opseg, tonski odziv, odsjaj, distorzije objektivu, vinjetiranje objektivu, ne uniformnost senzora, moire i drugo.

SFR je modul koji meri oštrinu, hromatske aberacije i nivo šuma. Ovaj modul je korišćen pri analizi fotografisane test karte ISO 12233 [3].

U tabeli 1 prikazana je kategorizacija površine aberacije po intenzitetu izraženom u pikselima.

Tabela 1. Kategorizacija površine hromatske aberacije po intenzitetu izraženom u pikselima [3]

Površina hromatske aberacije	Intenzitet
ispod 0.5	beznačajna
0.5-1	slaba (teško uočljiva)
1-1.5	umerena (donekle vidljiva u slučaju visokoformatne štampe)
iznad 1.5	jaka (veoma vidljiva u slučaju visokoformatne štampe)

### 3.3. Telo fotoaparata

Sony Alpha1, poznatiji kao Sony A1, je vodeći model u svakom smislu (slika 3). Ovaj full-frame mirrorless uređaj nudi visoku rezoluciju za fotografisanje i 8K za video snimke, izuzetnu brzinu kao i mogućnost izrade najzahtevnijih profesionalnih zadataka. U osnovi Sony A1 se odlikuje novodizajniranim 50,1MP Exmor RS BSI CMOS senzorom punog formata i BIONZ XR procesorom [4].



Slika 3. Telo fotoaparata Sony Alpha A1

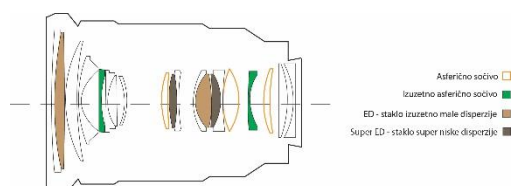
### 3.4. Objektivu

Objektivu je skup više plastičnih ili staklenih elemenata pri čemu staklo obično daje kvalitetniji i oštrij rezultat. Svaki element ima posebnu funkciju u fokusiranju svetlosti na senzor, bilo da se radi o oblikovanju svetlosti koja odgovara veličini senzora, korigovanju ili obezbeđivanju konačne tačke fokusa [5].

#### 3.4.1. Objektivu Sony 24-70mm f/2.8 GM

Sony FE 24-70mm f/2.8 GM je jedan od prva tri predstavnika Sony G Master (GM) klase objektivu, koja stavlja akcenat na visoku rezoluciju i kvalitetan bokeh. U pitanju je standardni zum objektivu sastavljen od 18 elemenata u 13 grupa, od kojih je jedan potpuno novi i veoma precizan, ekstremni asferični (XA) element, i on je zadužen za neutralisanje hromatskih aberacija i pružanje vrhunske rezolucije - duž čitavog raspona i blende, od jedne do druge ivice kadra [6].

Na slici 4 prikazani su delovi objektivu Sony 24-70mm f/2.8 GM.

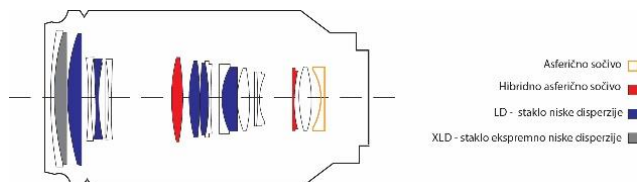


Slika 4. Delovi objektivu Sony 24-70mm f/2.8GM

### 3.4.2. Objektiv Tamron 70-180 f/2.8

Tamron 70-180mm f/2.8 je telefoto objektiv najnovije generacije konstruisan za full-frame i APS-C fotoaparate.

Na fotoaparatu sa APS-C senzorom njegova žižna daljina iznosi 105-270mm. Posедуje konstantan maksimalni otvor blende f/2.8 na čitavom rasponu i optičku stabilizaciju slike. Poseduje VXD (*Voice - coil eXtreme - torque Drive*) autofokusni motor koji omogućava ultra brzo i tiho fokusiranje [7]. Na slici 5 prikazani su delovi objektivu Tamron 70-180 f/2.8



Slika 5. Delovi objektivu Tamron 70-180 f/2.8

### 3.5. Postavka scene

Prvi korak pri postavljanju scene jeste pronalaženje pogodnog prostora i obezbeđivanje zamračene prostorije. Korišćene su LED lampe koje simuliraju dnevno svetlo, jačine oko 5000 K. Postavljene su tako da ugao osvetljenja bude kao po Imatest preporuci, između 30 i 45 stepeni, kako bi se izbegao problem stvaranja odsjaja ili senki na test karti.



Slika 6. Postavka scene

Test karta je postavljena na neutralnu pozadinu, zid, pod uglom od 90 stepeni.

Nakon toga, postavlja se stalak, naspram test karte, na koji je postavljen fotoaparat (slika 6).

Nakon ispravne postavke svih elemenata, fotografisana je test karta, jednim telom i različitim objektivima, za dalju analizu.

## 4. REZULTATI MERENJA

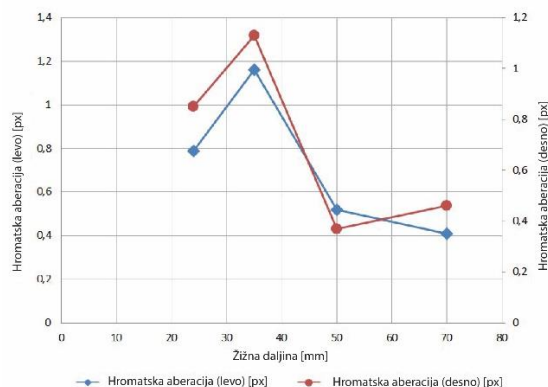
### 4.1. Rezultati ispitivanja na objektivu Sony 24-70 f/2.8 GM

Ispitivanje je vršeno na objektivu Sony 24-70 f/2.8GM na udaljenosti od 180cm od test karte, gde je žižna daljina varijabilni faktor dok su otvor blende (f/2.8), brzina zatvarača (1/50) i ISO (200) fiksne vrednosti.

Na slici 7 prikazan je grafik sa rezultatima za testirani objektiv pri različitim žižnim daljinama. Na grafiku je prikaza X osa, na kojoj su vrednosti žižne daljine, i dve Y ose na kojima je izražena hromatska aberacija za ROI površinu sa desne i leve strane iste slike.

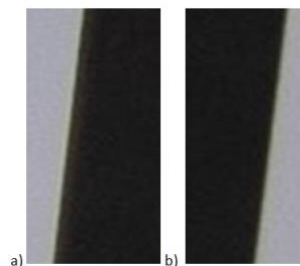
Na osnovu dobijenih rezultata, prema vrednostima iz tabele 1 zaključujemo da je jedino u drugoj tački, pri žižnoj daljini od 35 mm, hromatska aberacija umerena, odnosno donekle vidljiva u slučaju visokoformatne štampe, dok je u ostalim slučajevima slaba, teško uočljiva ili čak beznačajna.

Nakon tabelarnog unosa vrednosti u Excel, određena je i korelacija ove dve vrednosti preko funkcije CORREL i ona iznosi 0,96. Na osnovu ove informacije, kao i vizuelnog prikaza na grafiku zaključujemo da se one vrlo slično ponašaju.

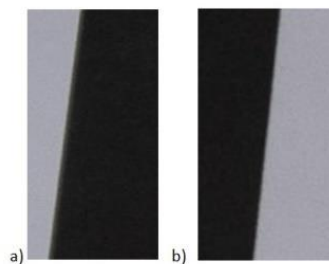


Slika 7. Grafik sa rezultatima dobijenim pri fotografisanju sa objektivom Sony 24-70mm f/2.8 GM

Na slici 8 prikazane su ROI površine korišćene pri merenju, gde je vidljiva najveća hromatska aberacija za obe strane, pri žižnoj daljini od 35 mm, koja i dalje spada u umerenu hromatsku aberaciju (koja je donekle vidljiva samo pri visokoformatnoj štampi), dok je na slici 9 prikazana najmanja hromatska aberacija za levu stranu pri žižnoj daljini od 70 mm, a za desnu stranu 50 mm.



Slika 8. ROI površina sa najvećom hromatskom aberacijom; a) leva i b) desna strana



Slika 9. ROI površina sa najmanjom hromatskom aberacijom; a) leva i b) desna strana

### 4.2. Rezultati ispitivanja na objektivu Tamron 70-180 f/2.8

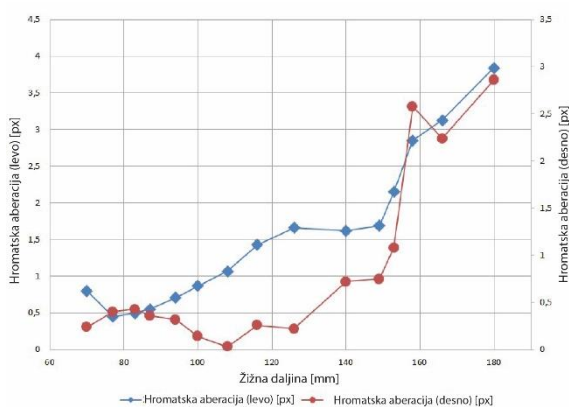
Ispitivanje je vršeno na objektivu Tamron 70-180 f/2.8 na udaljenosti od 345cm od test karte, gde je žižna daljina varijabilni faktor dok su otvor blende (f/2.8), brzina zatvarača (1/320) i ISO (1600) fiksne vrednosti.

Na slici 10 prikazan je grafik sa rezultatima za testirani objektiv pri različitim žižnim daljinama.

Na osnovu dobijenih rezultata, prema vrednostima iz tabele 1 zaključujemo da objektiv pri manjim žižnim daljinama ima beznačajnu ili teško uočljivu hromatsku aberaciju, dok sa porastom žižne daljine raste i hromatska aberacija, pa tako najveća žižna daljina ima hromatsku aberaciju od čak 3,84 px za levu i 2,86 px za desnu stranu, što prelazi granice hromatske aberacije koja se toleriše.

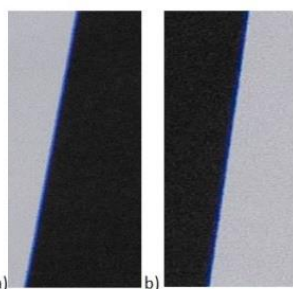
Zapaža se rastući trend jačine hromatske aberacije koja prati trend povećanja žižne daljine, s tim da je vrednost leve strane generalno veća u odnosu na desnu stranu.

Koeficijent korelacije između vrednosti hromatske aberacije za levu i desnu stranu iznosi 0,91. Na osnovu ove informacije, kao i vizuelnog prikaza na grafiku zaključujemo da se one vrlo slično ponašaju.

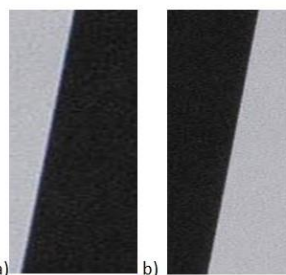


Slika 10. Grafik sa rezultatima dobijenim pri fotografisanju sa objektivom Tamron 70-180 f2.8

Na slici 11 prikazane su ROI površine korišćene pri merenju, gde je vidljiva najveća hromatska aberacija za obe strane, pri žižnoj daljini od 180 mm, dok je na slici 12 prikazana najmanja hromatska aberacija za levu stranu pri žižnoj daljini od 77mm, a za desnu stranu 108mm.



Slika 11. ROI površina sa najvećom hromatskom aberacijom; a) leva i b) desna strana



Slika 12. ROI površina sa najmanjom hromatskom aberacijom; a) leva i b) desna strana

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je ispitan uticaj promene žižne daljine na pojavu hromatske aberacije na fotografijama. Za te potrebe izabrana su dva objektiva, jedan standardni zum i drugi telefoto objektiv, dok je telo fotoaparata bilo konstantno. U slučaju zum objektiva, na manjim žižnim daljinama je dobijena veća hromatska aberacija, dok je na žižnim daljinama standardnog objektiva (50 i 70 mm) hromatska aberacija manja. Generalno su dobijene mnogo manje vrednosti aberacije kod zum objektiva u odnosu na telefoto objektiv. S druge strane, na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da kod telefoto objektiva sa porastom žižne daljine, raste i pojava hromatske aberacije. Pri manjim žižnim daljinama fotografije imaju beznačajnu ili teško uočljivu hromatsku aberaciju, dok sa porastom žižne daljine raste i hromatska aberacija.

## 6. LITERATURA

- [1] N. Mehić, "Hromatska aberacija" 2011. [Online]. Dostupno na: [https://unze.ba/am/pzi/2010/MehicNerma/hromatska%20aberacija%20\(CA\).html](https://unze.ba/am/pzi/2010/MehicNerma/hromatska%20aberacija%20(CA).html) [Pristupljeno: 23.08.2022.]
- [2] A. Husić, "Hromatska aberacija" 2012. [Online]. Dostupno na: <https://unze.ba/am/pzi/2011/HusicAmela/uzroci.html> [Pristupljeno: 23.08.2022.]
- [3] J. Vukojević, Procena hromatske aberacije i odsjaja kod objektiva digitalnih fotoaparata i metode korekcije. Master rad. Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Grafičko inženjerstvo i dizajn. 2013
- [4] Foto Diskont, "Sony A1" (n.d.) [Online]. Dostupno na: <https://fotodiskont.rs/proizvodi/digitalni-fotoaparati/mirrorless-fotoaparati/sony-a1.html> [Pristupljeno: 30.8.2022.]
- [5] T. Schiesser, "Know your smartphone: A guide to camera hardware" (2014) [Online]. Dostupno na: <https://www.techspot.com/guides/850-smartphone-camerahardware/> [Pristupljeno: 21.8.2022]
- [6] PCFoto, "Sony 24-70 mm f2.8GM" (n.d.) [Online]. Dostupno na: <https://pcfoto.biz/sony-fe-24-70mm-f28-gm.html> [Pristupljeno: 30.8.2022.]
- [7] Foto Diskont "Tamron 70-180mm f/2.8 Di III VXD za Sony E" (n.d.) [Online]. Dostupno na: <https://fotodiskont.rs/proizvodi/objektivi/tamron-70-180mm-f28-di-iii-vxd-za-sony-e.html> [Pristupljeno: 30.8.2022.]

### Kratka biografija:

**Iva Juretić** rođena je u Novom Sadu 1998. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičko inženjerstvo i dizajn odbranila je 2022. godine.

kontakt: [ivajuretic38@gmail.com](mailto:ivajuretic38@gmail.com)

**dr Ivana Jurić**, rođena je u Kikindi 1987. godine. Doktorske studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka 2018. god., a od iste godine je u zvanju docent. Oblast interesovanja je kontrola kvaliteta digitalne fotografije.

kontakt: [rilovska@uns.ac.rs](mailto:rilovska@uns.ac.rs)