

Utjecaj formata zapisa i kompresije na kvalitetu zapisa digitalne fotografije

Fajta, Zrinka

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:645577>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zrinka Fajta



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ FORMATA ZAPISA I KOMPRESIJE NA KVALITETU ZAPISA DIGITALNE FOTOGRAFIJE

Mentor:

dr. sc. Miroslav Mikota

Studentica:

Zrinka Fajta

Zagreb, 2015.

SAŽETAK:

U radu se ispituju dva najpopularnija formata zapisa digitalne fotografije, RAW i JPEG. Uspoređuju se karakteristike i primjena dva formata, te se поближе definira njihov utjecaj na kvalitetu zapisa digitalne fotografije, no prvo se razrađuju sami kriteriji za određivanje kvalitete fotografije. Također se pojašnjava pojam kompresije u cilju boljeg razumijevanja. U praktičnom dijelu se uz pomoć snimljenih fotografija ispituje razlika između dva formata na temelju mjerila za kvalitetu fotografije, koja će biti prethodno definirana u teorijskom dijelu.

KLJUČNE RIJEČI:

JPEG, RAW, kompresija, formati zapisa, konverzija, fotografija

ABSTRACT:

This paper examines the two most popular image file formats in digital photography, RAW and JPEG. The characteristics and application of the two formats are compared, and also, their impact on the quality of the records of digital photography are closely defined, but first criteria for determining image quality is noted. This paper also contains the explanation of compression for better understanding. In the practical part, with the help of taken photographs, the differences between the two formats based on standards for image quality previously defined in the theoretical part of the paper are examined.

KEY WORDS:

JPEG, RAW, compression, file formats, conversion, photography

SADRŽAJ:

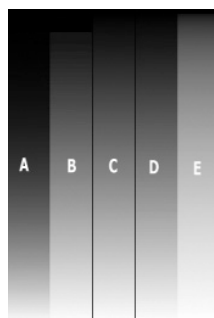
1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. Kvaliteta digitalne fotografije	3
2.1.1. Broj piksela.....	3
2.1.2. Dubina boje	5
2.1.3. Bijeli balans	5
2.1.4. Oštrina.....	6
2.1.5. Šum.....	6
2.1.6. Dinamički raspon i ekspozicija.....	7
2.2. Formati zapisa.....	7
2.2.1. Nastanak digitalnog zapisa na fotoaparatu	7
2.2.2. RAW.....	8
2.2.3. JPEG.....	9
2.2.4. Princip kompresije JPEG formata.....	13
2.2.5. Upotreba RAW i JPEG formata	15
2.3. Prostori boja	17
2.3.1. RGB sustav boja	17
2.3.2. CIELab prostor boja	18
2.4. RAW konvertori	19
2.4.1. Digital Photo Professional	19
2.4.2. Adobe Camera Raw	20
2.4.3. Adobe Lightroom	21
3. PRAKTIČNI DIO	22
3.1. Usporedba kolorimetrijskih vrijednosti	23
3.1.1. Kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponirane fotografije	24
3.1.2. Kolorimetrijske vrijednosti preekspanirane fotografije	31
3.1.3. Kolorimetrijske vrijednosti podekspanirane fotografije	37
3.2. Vizualna usporedba fotografija.....	43
3.2.1. Usporedba RAW-a i JPEG-a direktno iz fotoaparata.....	43
3.2.2. Usporedba RAW i softverski konvertiranog JPEG formata ..	51
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	53
5. ZAKLJUČAK.....	55
6. LITERATURA	57

1. UVOD

U svijetu digitalne fotografije se često javlja dvojba o tome koji format zapisa koristiti za snimanje i spremanje istih na medij za pohranu podataka. Standardni formati digitalnih fotografija su obično RAW i JPEG. RAW je nekomprimirani, odnosno "sirovi" format, koji sadrži sve informacije dobivene na foto senzoru prije nego što je u fotoaparatu provedena obrada, dok je JPEG komprimirani format sa gubicima. Kompresija je proces kojim se, primjenom određenih postupaka, smanjuje prostor koji datoteka zauzima na računalu uz određenu degradaciju kvalitete slike.

Upravo zbog pojave širokopojasnog Interneta pojavila se potreba za uštedom prostora koji fotografije zauzimaju. Naime, više od 40% sadržaja na Internetu predstavljaju slike, stoga je bilo potrebno osigurati način da se one učinkovito i brzo učitavaju ne opterećujući suviše internet promet i uređaje korisnika koji žele pristupiti tim *web* stranicama.

Ljudski vizualni sustav obuhvaća oko i mrežnicu, dok sliku procesuiru u mozgu. Postoji mnogo trikova, odnosno optičkih iluzija koje se mogu upotrijebiti za stvaranje osjećaja točne percepcije. Slika 1 prikazuje dijagram varijacija sivog gradijenta (A do E) koji predstavlja gradijaciju u svjetlini. Te gradijacije se ljudskom oku čine glatke i kontinuirane iako je svaka gradijacija provedena s manje od 256 tonova (B i D nisu jednako glatke kao C). [1]



Slika 1. Sivi gradijent [1]

Ljudsko oko je osjetljivije na objekte u pokretu i rubove nego postepene gradijacije. Isto tako, oko je osjetljivije na zelenu boju, nego na crvenu i plavu, te na promjene u svjetlini, nego promjene u tonovima. Ovakve „varke“ iskorištava JPEG u svojoj kompresiji, kako bi se dobile na prvi pogled vizualno realne slike koje zauzimaju puno manje prostora od RAW formata. [2]

No koji je od navedena dva formata u konačnici bolji? Mnogi fotografi se u mišljenjima oko ovog pitanja razilaze. Neki preferiraju tehničke specifikacije, dok drugi odluku donose na temelju praktične primjene fotografije. Isto tako, većina modernih DSLR aparata nudi opciju za snimanje u oba formata paralelno pa i ta opcija ima svoje prednosti i nedostatke. Stajališta obje strana su argumentirana i to se ne može negirati.

Tema ovog rada su promjene u vidu slikovne informacije, odnosno oblika u kojem se one reproduciraju. Cilj rada je napraviti usporedbu ova dva formata, te pobliže definirati njihov utjecaj na kvalitetu zapisa digitalne fotografije, stoga se u nastavku rada upoznaje sa samim kriterijima kvalitete zapisa digitalne fotografije, a potom se detaljnije obrađuju i same karakteristike dva navedena zapisa. U praktičnom dijelu se uz pomoć ciljano snimljenih primjera ispituje razlika između ova dva formata zapisa na temelju mjerila za kvalitetu fotografije koja su navedena u teorijskom dijelu.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Kvaliteta digitalne fotografije

Kvaliteta fotografije je karakteristika slike koja mjeri njenu degradaciju, obično ju uspoređujući s idealnom ili savršenom slikom. Idealna slika podrazumijeva da fotografija prezentira količinu svjetla koja pada na svaku točku u određenom trenutku. To se odnosi na procese mjerenja svjetla u fotoaparatu, a kvaliteta slike se mjeri prema devijacijama ovog modela.

U nekim slučajevima, degradacija slike ne mora nužno ovisiti o samom fotoaparatu već o načinu spremanja slike. Npr. ako je slika kompresirana i spremljena a potom ponovno dekompresirana, rezultat neće biti identičan originalnoj slici.

No kvaliteta slike može također biti subjektivan pojam, ovisno o osobi koja gleda sliku, budući da svaka osoba percipira detalje i boje na drugačiji način. Dakle, kvaliteta slike se može mjeriti na više načina, ali najčešće se koristi usporedba originalne fotografije s komprimiranom JPEG fotografijom pomoću kompjuterskih programa. [3]

2.1.1. Broj piksela

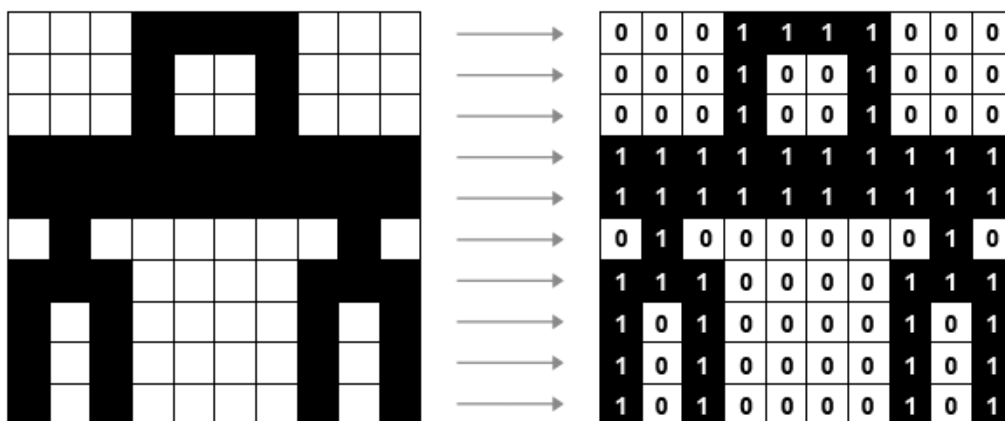
Broj piksela je vrlo bitan kriterij u mjerenju kvalitete slike. Osnovni element od kojeg se sastoji digitalna slika je piksel. Piksel se sastoji od niza brojeva koji određuju njegovu boju i intenzitet. Brojom piksela se određuje razlučivost slike, što znači da veći broj piksela daje veću razlučivost, ali s time se povećava i zauzeće memorije (slika 2). Broj piksela fotografije na ekranu se naziva rezolucija, no ona može ovisiti i o samoj rezoluciji ekrana računala, što znači da će ekran prikazati sliku u najvećoj mogućoj rezoluciji ukoliko je rezolucija fotografije veća od rezolucije ekrana. Računalo ne „vidi“ sliku poput čovjeka, već ju čita pomoću procesora koji sliku pretvara u binarni zapis, a potom u piksele. Mjerenje rezolucije se provodi brojanjem piksela koji se nalaze u

vodoravnim i okomitim linijama ekrana (npr. 800x600, 1024x768,...) i za svaki piksel računalo zapisuje određeni broj bitova.



Slika 2. Razlika u broju piksela

U slučaju crno-bijele slike, računalo zapisuje vrijednost 0 ako je piksel bijel i 1 ako je piksel crn (slika 3). Kod kolor slike svaki je piksel određene boje, odnosno crvene, zelene ili plave boje (RGB zapis) i zahtjeva do 32 bita po jednom pikselu. Rezolucija printera mjeri se brojem točaka po jednom inču (*dots per inch*), a najčešće iznosi 300 ili 600 dpi. Točke u tisku odgovaraju pikselu na ekranu računala. [4]



Slika 3. Prikaz ilustracije u bitovima [5]

2.1.2. Dubina boje

Dubina boje piksela označava broj ukupnih nijansi boje (dinamički raspon), tj. broj bita po svakom pikselu. Što je dubina piksela veća, povećava se i mogućnost prikaza različitih nijansi boje (slika 4).

Broj boje na slici se dobiva jednostavnom matematičkom formulom 2^n , gdje n predstavlja broj bitova. Npr. ukoliko slika ima 2 bita po kanalu ona sadrži 4 boje, dok slika od 4 bita sadrži 16 boja. 8 bita po kanalu daje 24 bitnu boju po pikselu ($8 \text{ bita (R)} + 8 \text{ bita (G)} + 8 \text{ bita (B)} = 24 \text{ bita (RGB)}$) i stoga daje 256 kombinacija ($2^8 = 256$) za koje su tehnolozi zaključili da su optimalni minimum koji daje to što mi danas gledamo na velikoj većini monitora koji nas okružuju. [6] Broj boja koje ljudsko oko može razlikovati je 16 milijuna, što dobivamo umnoškom od 256 nijansi od primarne tri boje, odnosno $256 \times 256 \times 256 = 16777216$.



Slika 4. Razlika u dubini boje po kanalu

Kod crno-bijelih slika, broj bitova određuje nijanse sive boje, gdje 8 bita po kanalu predstavlja 256 nijansi sive boje, a to je ujedno i najveći broj nijansi koje ljudsko oko može razlikovati. [4]

2.1.3. Bijeli balans

Podršavanje bijelog balansa je proces uklanjanja nerealnih boja, tako da se područja koja su bijela u stvarnosti, izgledaju bijelo na slici. Nerealne boje se mogu ukloniti u postprodukciji slika, ali često po cijenu dubine boje. To se

dogaća zato jer je bijeli balans već dva puta bio određen: jednom kod JPEG konverzije, a drugi put u postprodukciji. Snimanje u RAW-u omogućuje namještanje bijelog balansa u naknadnoj obradi fotografije, bez nepotrebnog uništavanja bita. [7]

2.1.4. Oštrina

Oštrina određuje količinu detalja koju slika prenosi. Na nju utječe objektiv (dizajn i kvaliteta, žarišna duljina, otvor objektiva i udaljenost od objekta) i senzor (broj piksela i filter). Na terenu, na oštrinu utječe potresanje fotografskog aparata (stativ može poslužiti kod ovog problema), točnost izoštravanja, te samo vrijeme (magla i kiša). Izgubljena oštrina može biti vraćena na računalo ali ima svoje granice. Pretjerana oštrina može degradirati kvalitetu slike stvarajući artefakte kod područja velikog kontrasta. Fotografije na mnogim digitalnim fotoaparatima su ponekad prevelike oštrine kako bi se na taj način kompenzirala lošija kvaliteta slike.

2.1.5. Šum

Šum je varijacija gustoće slike i piksela, koja je vidljiva kao „zrno“ na slici (slika 5). Uzrokuju ga visoka ISO osjetljivost, odnosno fotoni svjetla i termalna energija topline unutar senzora. U alatima za uređivanje slike, šum se smanjuje na način da se slika „zaglađuje“, isključujući područja oko prostora velike razlike u kontrastu. [3]



Slika 5. Slika s velikim šumom

2.1.6. Dinamički raspon i ekspozicija

RAW dokument obično omogućuje više „dinamičkog raspona“ od JPEG-a što opet ovisi o tome kako fotoaparat kreira JPEG. Dinamički raspon se odnosi na raspon svijetlih i tamnih područja. S obzirom da RAW format nije obrađen uz pomoć algoritama, ekspozicija kod RAW-a se može tek malo popraviti u naknadnoj računalnoj obradi. Popravljanje ekspozicije može pomoći u isticanju izgubljenih sjena ili isticanju detalja. [7]

2.2. Formati zapisa

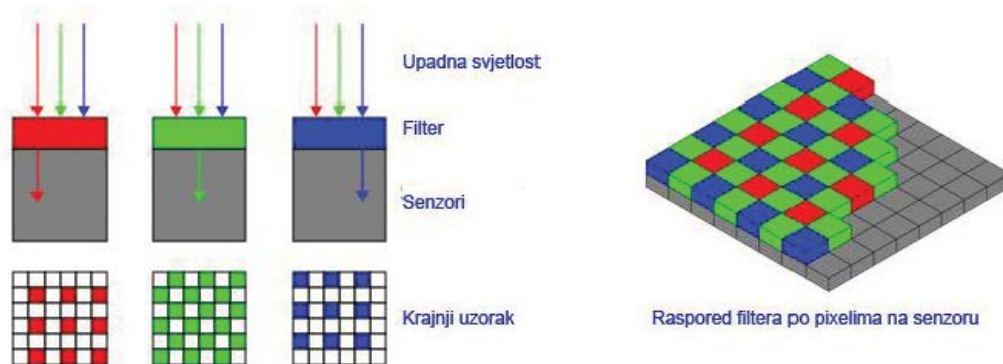
Formati zapisa su standardizirani zapisi organiziranja i spremanja digitalnih fotografija. Zapisi se sastoje od digitalnih podataka koji se mogu rasterizirati za upotrebu na računalu, a mogu se spremati u kompresiranom ili nekompresiranom formatu. Kada se jednom rasterizira, slika postaje mreža piksela, od kojih svaki sadrži podatke o dubini boje. Standardni formati zapisa digitalne fotografije su RAW i JPEG. RAW je u stvari naziv za različite sirove formate, a konkretni ovisi o fotografskom aparatu.

2.2.1. Nastanak digitalnog zapisa na fotoaparatu

Svjetlo kroz objektiv dolazi na senzor koji propušta signal do sljedeće faze, interpolacije Bayerovog uzorka, koja razdvaja signal na osnovne tri RGB boje (crvenu, zelenu i plavu). Istu funkciju obavljaju „štapići“ i „čunjići“ u ljudskom oku. Dr. Bayer iz firme Kodak je izmislio filter matricu, tj. shemu rasporeda crvenih, zelenih i plavih filtera u matrici, po kojoj bi svaki od elemenata trebao propustiti samo jednu od tri RGB komponente. Po ovoj shemi 50% filtera propušta samo zelenu (G), a po 25% crvenu (R) i plavu (B) komponentu upadnog svjetla (slika 6).

Razlog za dominaciju zelene komponente leži u činjenici da ljudsko oko može identificirati puno više u zelenom dijelu spektra, nego u crvenom ili plavom. Zelena boja, među ostalim, pokriva i najvažniji dio vidljivog spektra. Također, razlog dominacije zelene komponente leži i u činjenici da je u prirodi

ljudskog oka da ono mnogo bolje reagira na kontrast nego na boje, tj. mnogo bolje reagira na razliku između svijetlog i tamnog nego na razliku između dvije boje. [8]



Slika 6. Bayerov postupak filtriranja svjetlosti [9]

2.2.2. RAW

RAW format zapisa slike sadrži „sirove“, odnosno neprocesuirane informacije o pikselima preuzete izravno sa senzora digitalnog fotoaparata. Stoga se može smatrati ekvivalentom negativa u klasičnoj fotografiji koja koristi film.

RAW format ima mnoštvo prednosti, između ostalog, visoku dubinu boja (najčešće 12 ili 14 bita po pikselu) što omogućava širi dinamički raspon od JPEG zapisa, nerazoran bijeli balans, kompresiju bez gubitaka i bolju prilagodbu tona boje. [10] No, najbitnije prednosti RAW formata su:

- 1) Velika mogućnost naknadne računalne obrade

Naspram njihovih mana, prednosti korištenja RAW-a su puno veće s čime će se složiti profesionalci koji su nerijetko prisiljeni raditi u slabim uvjetima rada kao što je npr. loše osvjetljenje. Npr. problem loše osvjetljenosti se može riješiti izmijenom ISO osjetljivosti. Fotograf može i snimiti podeksponiranu fotografiju u RAW formatu, a potom toj podeksponiranoj fotografiji na računalu povećati ekspoziciju, korigirati kontrast i svjetlinu i sl., što na kraju rezultira kvalitetnijom slikom nego da ju je snimao u JPEG formatu s visokom ISO osjetljivošću. Dakle, ako je slika podeksponirana, preekspozicionirana ili ima problema s bojama, u RAW

formatu se može lakše popraviti, jer on nudi najkvalitetniju originalnu sliku i maksimalnu fleksibilnost u digitalnoj manipulaciji.

Kada se slika snima u JPEG-u, sve te operacije se provode u samom fotoaparatu i, kada se jednom slika u fotoaparatu spremi u JPEG, te informacije se više ne mogu podešavati.

2) Veći dinamički raspon

Kod RAW datoteka za neke od parametara slike se pohranjuje više informacija nego kod JPEG kompresije, odnosno kod RAW datoteka svaki piksel ima veći dinamički raspon, a 12 ili 14 bita po kanalu omogućuje manja izobličenja pri daljnjoj računalnoj obradi. [11]

2.2.3. JPEG

Ovaj format zapisa spada u grupu komprimiranih zapisa. Na način na koji se RAW fotografija može poistovjetiti sa još neobrađenim filmskim negativom, tako se JPEG fotografija može poistovjetiti s gotovim i obrađenim negativom jer su kod nje sve obrade već napravljene u samom fotoaparatu, dok RAW format sadrži nekomprimirane informacije. Radi se o kompleksnom standardu kompresije definiranom 1992. godine od strane udruženja "Joint Photographic Expert Group", odakle i potječe sama kratica za ovaj format zapisa. [12]

Temeljni zahtjevi koje JPEG mora ispunjavati su da mora zadovoljavati širi raspon kvaliteta slika te omogućiti određivanje željenog odnosa između kvalitete slike i kompresije. Razvijen je za vremena kad se je još uvijek pokušavalo uštediti na memorijskom prostoru zbog svojih skromnih memorijskih zahtjeva. Pogodan je za arhiviranje slika te njihovu razmjenu putem Interneta (uz GIF je najpopularniji format zapisa na Internetu), budući da zauzima malo prostora na mediju za pohranu i ima podršku svih browsera. [13]

Ova kompresija je smišljena s ciljem da bez ljudskom oku vidljivih gubitaka kvalitete slike, smanji veličinu datoteke nekoliko puta. Ovo je znatna ušteda prostora u odnosu na tehnike kompresije bez gubitaka jer se pri takvom načinu

kompresiranja može postići ušteda memorijskog prostora od jedva 50%, što često nije dovoljno. [2]

Ovaj format zapisa se temelji na DCT (diskretna kosinusna transformacija) metodi i spada u kompresiju s gubitcima (slika 7). Algoritam kojim se kompresira datoteka je usmjeren da sadrži čim više važnih detalja slike, a izbacuje one koji su vizualno manje uočljivi. Sve slike nije moguće jednako komprimirati - kod slika s manje detalja (npr. slika neba) je moguće postići veću uštedu prostora nego kod slika s mnogo detalja i kontrastnih površina. Stoga je ovakva kompresija osmišljena s ciljem da iskoristi ograničenja ljudskog oka (tj. činjenicu da su manje promjene u svjetlini mnogo uočljivije nego male promjene u boji) s obzirom da će tako komprimirane slike gledati čovjek. [13] Zato JPEG najbolje komprimira kolor slike, a slabije komprimira slike u nijansama sivih tonova koji su zapravo nijanse svjetlosti. [2]



Slika 7. Proces kompresije diskretnom kosinusnom transformacijom [9]

Kvaliteta slike se gubi i pri naknadnim manipulacijama u programima za obradu fotografija, čak i kada se radi o manjim promjenama kao što su rotacije slike. Iz tog razloga se JPEG u pravilu ne bi smio obrađivati jer je njegova kompresija već izvršena u samom fotoaparatu. Rezultat obično postaje vidljiv kada se uspoređi s RAW slikom. [9] Nije pogodan za tekstove, jednostavne crteže i tehničke crteže, odnosno za grafiku gdje se zahtjeva oštar kontrast između piksela (takvi formati se bolje pohranjuju u RAW-u). [13] Kod takvih grafika nije pogodan jer se i pri manjem intenzitetu kompresije pojavljuju vidljive greške - artefakti. [2]

S obzirom na nedostatke RAW-a, od kojih je najveći njegova veličina zapisa, mnogi fotografi radije koriste JPEG zapis koji sadržava manje informacija o slici i ima lošiju kvalitetu reprodukcije u određenim situacijama (npr. preeksponirane i podeksponirane slike, te slabije odnosno jače osvjetljenje). Neke od prednosti JPEG-a pred RAW formatom su:

1) Malo zauzeće memorije

Broj mogućih snimljenih slika u sekundi je puno veći jer je potrebno manje vrijeme obrade što je vrlo bitno kod recimo snimanja sportskih događanja, vjenčanja i sličnih događanja gdje fotografi doslovno mogu snimiti preko 1000 fotografija. [10] Također, kada je u pitanju prijenos fotografija s fotoaparata na npr. računalo, prijenos je puno brži. Sve je to povezano s činjenicom da RAW datoteka može biti nekoliko puta „teža“ od JPEG datoteke. [14]

2) Odabir stupnja kompresije

Jedna od najvećih prednosti korištenja JPEG formata je mogućnost odabira stupnja kompresije. Ako je cilj dobiti kvalitetnu sliku odabrati će se manji stupanj kompresije, a ako je bitnija ušteda na memorijskom prostoru odabrati će se veći stupanj kompresije koji će prilično degradirati sliku. [15]

3) Standardiziran format

Za razliku od RAW-a koji je zajednički naziv za u suštini istih datoteka, ali različitih prema proizvođaču fotoaparata (ima različite ekstenzije), JPEG format je univerzalan i standardiziran, te stoga jednostavan za pregled, pohranjivanje i dijeljenje fotografija, dok RAW nije. [8]

Tako npr. kada se iz fotoaparata neku RAW datoteku prebaci na računalo ona može imati sljedeće ekstenzije:

- .raf (Fuji) .orf (Olympus)
- .crw .cr2 (Canon)
- .kdc (Kodak)
- .arw (Sony)

- .mrw (Minolta)
- .x3f (Sigma)
- .nef (Nikon)
- .ptx .pef (Pentax) [11]

Takva nestandardizacija formata kod RAW-a ima za posljedicu problem daljne obrade fotografija jer se one često ne mogu otvoriti u određenim programima zbog nedostatka odgovarajućih *softwarea*. Adobe je ponudio korisnicima opciju da svoje RAW dokumente pri prijenosu s aparata na računalo automatski konvertiraju u standardizirani DNG (*digital negative*) format, Adobeovu verziju sirovog zapisa. To je za korisnike Adobeovih paketa predstavljalo prednost s obzirom da su prije morali izdvojiti dodatna novčana sredstva kako bi mogli obraditi RAW fotografije koristeći aplikacije proizvođača svojih digitalnih fotoaparata budući da se Nikonov RAW datoteke ne može obraditi u npr. Canonovom programu. Također, neki od tih programa nisu zadovoljavali s ponuđenim alatima za obradu fotografija, za razliku od Adobeovih programa, iako specijalizirani programi vodećih proizvođača fotografskih aparata imaju određene prednosti (prvenstveno „usklađenost“ s opcijama fotografskog aparata). [8] Međutim, DNG nije prihvaćen kao univerzalan zapis, ali postoji mogućnost otvaranja formata zapisa pojedinih proizvođača fotografskih aparata u univerzalnim programima za predobradu.

Neki od poznatijih programa za obradu i pregledavanje RAW fotografija su:

- Adobe Camera RAW *plug-in* (za starije verzije Photoshopa) [11]
- Lightroom (Adobeov program za obradu, organizaciju i konverziju RAW formata)
- Aperture 2 (Macova verzija Lightrooma)
- SilverFast HDR Studio [8]
- Photoshop CS (verzija 8) već ima konkretnu podršku
- Pixmantec Raw Shooter
- Capture One

- Bibble
- BreezeBrowser
- DxO Optics Pro
- Programi koji dolaze od proizvođača fotoaparata [11]

2.2.4. Princip kompresije JPEG formata

JPEG kompresija koristi matematiku kako bi se smanjila veličina datoteke tako da reducira izvjesnu količinu vizualno nevažnih informacija i reorganizira preostale podatke. Kako se reducirani podaci nepovratno gube, JPEG nazivamo i gubitničkom kompresijom. [16]

Postoji više principa kompresije JPEG formata. Osnovni princip se najčešće sastoji se od sljedećih koraka:

- Transformacija prostora boja
- Uzrokovanje – Downsampling
- Podjela slike u blokove
- Direktna kosinusna transformacija (DCT)
- Kvantizacija
- Entropijsko kodiranje

Kao što je već u tekstu spomenuto, ljudsko oko je osjetljivije na promjene u luminanciji nego na promjene u tonu boje, pa se zato u JPEG kompresiji mora koristiti prostor boja u kojemu je informacija o luminanciji odvojena od informacija o boji. Za kolor fotografije JPEG koristi YCbCr prostor boja, gdje su podaci o luminanciji zapisani u Y kanalu dok su informacije o boje zapisane u Cb i Cr kanalima. Za crno-bijele slike se ovaj korak preskače. Prije transformacije, slika se podjeli u blokove po 8x8 elemenata slike, ali ako ukupan broj elemenata slike u retku ili stupcu nije djeljiv s 8, posljednji desni stupac elemenata slike se kopira onoliko puta koliko je potrebno da se dobije broj djeljiv s 8. [15]

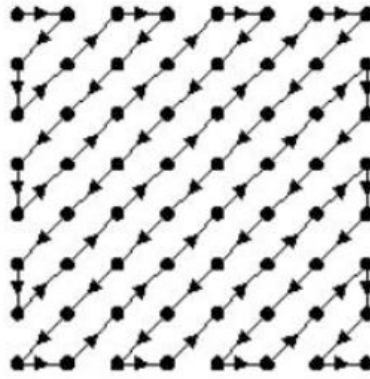
JPEG primjenjuje diskretnu kosinusnu transformaciju na svaki 8x8 blok piksela. Ova matematička metoda pretvara slijed podataka u frekvencijsko

područje (Slika 4). Tako se pikseli razdvajaju na nositelje bitnih informacija i nositelje nebitnih informacija. Mnoga istraživanja su pokazala da je ljudsko oko osjetljivije na gubitak visokih prostornih frekvencija i da dio podataka na slici prosječnom promatraču nije vidljiv. Takvi pikseli postaju nositelji manjeg broja informacija što znači da se štedi na broju bita koji se njima pridodaje. Ako se radi o tekstu, ovaj način kompresije može biti nepogodan jer veliki kontrast između pozadine i teksta stvara veliki broj visoko frekventnih područja stoga kompresija može biti jaka, te rezultira slikom nečitljivog teksta. [9]

Nakon DCT transformacije, svaki blok od 64 koeficijenta je pojedinačno kvantiziran ovisno o pripadajućem članu iz tablice kvantiziranja koja također sadrži 64 elementa. Poželjno je da se koeficijenti DCTa ne reprezentiraju sa većom preciznošću nego što je potrebno kako bi se postigla željena kvaliteta slike. Cilj ovog koraka je da se uklone podaci koji ne doprinose vizualnom poboljšanju slike, stoga se gubitak podataka u pikselima kod JPEG kompresije događa upravo u procesu dekvantizacije.

Svaki element kvantizacijske tablice se treba posebno obraditi kako bi se definirao prag kod kojega počinju biti vidljiva odstupanja. Vrijednosti pragova su ovisne o karakteristikama slike, karakteristikama zaslona na kojemu se slika reproducira te udaljenosti promatranja slike. [15]

Entropijsko kodiranje je posljednji korak kod JPEG kompresije temeljenoj na DCT-u koji dodatno povećava stupanj kompresije, ali ne utječe na daljnje gubljenje podataka o slici. U ovom koraku se zapravo kodiraju DC koeficijenti na temelju njihovih statičkih karakteristika. Može se koristiti aritmetičko kodiranje, no osnovna metoda koja se koristi kod entropijskog kodiranja je Huffmanova metoda. 64 koeficijenta u matrici svakog bloka poredaju se „zig-zag“ skeniranjem (slika 8).



Slika 8. „Zig-zag“ skeniranje [12]

„Zig-zag“ skeniranje se provodi kako bi se brojevi poredali tako da se oni brojevi koji su različiti od 0 smjeste na početak niza, a nule nakon njih. Zatim se nad nizom provodi *Run Length Encoding* (RLE) algoritam koji kodira vrijednosti bita i broj uzastopnih ponavljanja tog bita. Nakon toga slijedi primjena Huffmanovog algoritma koji osigurava da se dobiveni niz kodira sa što kraćom duljinom bitova. Naime, ideja Huffmanovog kodiranja je da brojevi koji se ponavljaju češće imaju kraće kodne riječi, a oni koji se ponavljaju rjeđe imaju duže kodne riječi.

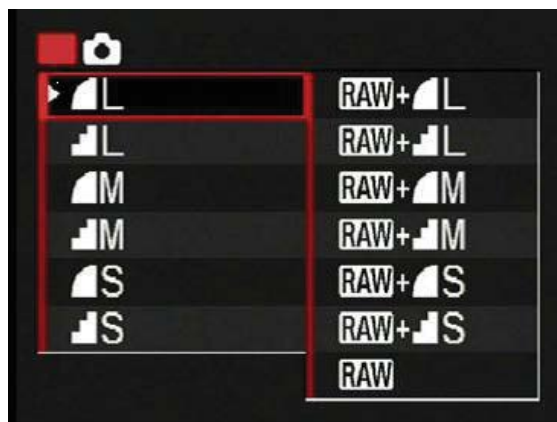
Aritmetičko kodiranje za razliku od Huffmanovog kodiranja ne zahtjeva dodatne tablice jer se može adaptirati na statičke značajke slike za vrijeme procesa kodiranja. Iako ovaj način kodiranja daje 5-10% više kompresije u usporedbi sa Huffmanovim kodiranjem, znatno je kompleksnije i zbog toga nije pogodno za implementaciju. [15]

2.2.5. Upotreba RAW i JPEG formata

Postoje dvije situacije kada se nikako ne upotrebljava RAW: memorijska kartica nije u mogućnosti pospremiti RAW fotografije i fotoaparatus se na neko vrijeme „zamrzne“ poslije obrade i spremanja RAW fotografija pošto mu je to vrijeme potrebno da ih procesuiraju. Zadnja situacija nije česti slučaj, ali se događa. No, u takvim situacijama postoji jedno rješenje: nabaviti dodatnu memorijsku karticu, a u međuvremenu snimljenu fotografiju spremiti u JPEG-u, budući da je to bolji izbor nego propustiti snimiti dobru fotografiju. [12]

No, ovaj nedostatak se može smatrati „sitnicom“ kada ga usporedimo s njegovim dobrim stranama. Mogućnosti RAW-a nad JPEGom su ipak puno veće, pogotovo u pogledu kvalitete konačne slike, budući da RAW omogućuje naknadnu i kvalitetniju korekciju većeg broja parametara.

No ipak, to ne znači da se RAW nužno mora koristiti u svakom slučaju snimanja fotografija. Većina modernih DSLR (*digital single-lens reflex*) fotoaparata daje mogućnost zapisa slike u jednom i u drugom formatu, pa čak i usporedno (slika 9). Korisnik bira željeni format s obzirom za što će snimljene fotografije upotrebljavati. [9]



Slika 9. Image quality postavke na digitalnom fotoaparatu [13]

Snimanje u oba formata usporedno omogućuje fotografu da odabere fotografije s kojima je zadovoljan kako su ispale u JPEG formatu i na taj način izbjegne gubitak vremena obrađujući te fotografije naknadno, dok kod fotografija gdje nije zadovoljan njihovim konačnim izgledom u JPEG formatu ima mogućnost postprodukcije u programima za obradu fotografija. Ovakav način usporednog snimanja je prikladan pogotovo u situacijama kada fotograf obavlja snimanje blizu svojeg doma, ili sa sobom ima nekakav rezervni sustav za pohranu kao što je laptop, te mu se tako nudi mogućnost da prenese fotografije na taj medij i oslobodi memorisjku karticu u fotoaparatu. No, ovakav način rada će, naravno, usporiti sam proces snimanja i iskoristiti puno memorije, pa se stoga ne preporuča kod snimanja sportskih događanja primjerice.

Neki fotografi ipak snimaju svoje fotografije isključivo u RAW formatu zato jer žele najbolju moguću kvalitetu svake fotografije premda bi mogli više JPEG fotografija pohraniti na istoj memorijskoj kartici. Ukoliko kasnije trebaju i žele, mogu na računalu kreirati JPEG iz RAW fotografije. Taj proces je spor (zato je RAW+JPEG u većini slučajeva bolja opcija). Snimanje u isključivo sirovom formatu je također bolja opcija za one koji planiraju napraviti puno naknadne obrade i nemaju značajnu korist od JPEG kompresije u fotoaparatu.

Mnogo novinara-fotografa ili fotografa vjenčanja i sličnih događaja ipak snimaju isključivo u JPEG formatu jer žele iskoristiti svaki slobodni bajt u memorijskoj kartici i zato jer je kod snimanja motiva u pokretu potrebno brzo spremanje fotografija u fotoaparatu. [14]

Fotografije koje će se koristiti na web ili mobilnim platformama nužno ne moraju biti velike kvalitete budući da im veličina rijetko kad preraste 500 piksela pa se za njih prije koriste JPEG formati zapisa nego RAW. [9]

2.3. Prostori boja

Prostor boje je određeni opseg boja, tj. određena vrsta organiziranja boja i definiranja uvjeta pod kojima one nastaju i kako se formiraju. U ovom radu se objašnjava RGB i CIE Lab sustav boja, budući da digitalna fotografija gradi aditivnom sintezom crvenog, zelenog i plavog dijela spektra elektromagnetskog zračenja, a određene kolorimetrijske razlike u ovom radu će biti objašnjene na CIE Lab sustavu boja zato jer je on najbliži objašnjavanju percepcije ljudskog oka.

2.3.1. RGB sustav boja

RGB je aditivni model boja kod kojeg se zbrajanjem osnovnih boja dobiva bijela boja. Jedna boja se opisuje kroz tri vrijednosti: dio crvene, dio zelene i dio plave boje, a vrijednosti su mu između 0 i 100%. [17] Slika se u ljudskom oku formira upravo koristeći te tri vrijednosti, pa se smatra da se na taj način može ustanoviti sastav boja. No, kada se govori o RGB sustavu boja, ne govori se

samo o jednoj definiciji boja, već i o svim onim prostorima koji koriste taj model, među kojima su AdobeRGB i sRGB najčešće korišteni.

sRGB prostor boja je definirao Microsoft i HP 1996. godine, te služi za definiranje boja na monitorima, televiziji i u printerima, a to su tri uređaja na koja se svodi konačna obrada slike. Samo definiranje boja u tom prostoru temelji se na formiranju trokuta čije stranice povezuju krajnje točke tog prostora definirane crvenom, zelenom i plavom bojom.

AdobeRGB prostor boja je stvoren od strane tvrtke Adobe Systems kako bi pratio trendove koje su u to vrijeme počeli nametati neki printeri za ispis fotografija u boji, a temeljeni su na nekom od CMYK prostora boja (koji je za razliku od RGB-a jedinstveni prostor budući da je definiran svojim ICC profilima) zadržavajući i dalje kao osnovu sustav temeljen na RGB-u. AdobeRGB prostor boja koristi se u digitalnim fotografskim aparatima i s gamutom širim od onog sRGB-a pokriva oko 50% prostora boja koji je danas pokriven CIE Lab sustavom. [18]

2.3.2. CIE Lab prostor boja

Za razliku od prethodno navedenih RGB sustava odnosno prostora boja koji se prikazuju plošno, CIE Lab je otišao korak dalje i uvođenjem treće dimenzije postao najbolja aproksimacija ljudskog viđenja boja. [18].

CIE Lab prostor boja je definirala Međunarodna komisija za osvjetljenje (eng. *International Commission on Illumination*). L^* vrijednost označava svjetlinu boje (eng. *lightness*) i ima raspon od 0 do 100, gdje 0 označava crni, a 100 bijeli ton boje. Vrijednost a^* u negativnom dijelu koordinatne osi označava zeleni ton ($-a^*$), a u pozitivnom dijelu crveni ton boje ($+a^*$), dok vrijednost b^* u negativnom dijelu prikazuje plavi ton ($-b^*$), a u pozitivnom dijelu osi žuti ton boje ($+b^*$). [19]

Za računanje razlike među bojama uvedena je mjera deltaE (ΔE^*). ΔE se kao vrijednost definirala na samom početku 1976. godine kao prostorna udaljenost između dvije točke (ΔE_{ab}), da bi 1994. godine bila definirana prva

korekcija (ΔE_{94}) te u konačnici 2000. druga kojom se uspješno pokrio najveći dio ljudima vidljivog prostora boja (ΔE_{00}). [18]

2.4. RAW konvertori

Računalni operacijski sustavi ne sadrže preglednike RAW datoteka, pa je potrebno instalirati poseban program za pregled RAW fotografija, a RAW datoteke otvarati po istom nazivu u nekom RAW konvertoru. Na ovaj način se štedi vrijeme pregledavanja RAW datoteka jer su one i do nekoliko puta „teže“ od JPEG formata koji već dugo godina dominira tržištem formata zapisa digitalnih fotografija pa i većina programa za obradu fotografija podržava taj zapis. [8]

RAW podaci dobiveni sa senzora su neobrađeni i ne mogu se prikazivati na monitorima ili pripremiti za ispis ili tisak, pa se prije toga obraditi i konvertirati. Prilikom snimanja JPEG slika u fotoaparatu, ti RAW podaci se isto tako obrađuju, a to uključuje namještanje bijeloga balansa, kolorimetrijske korekcije, gama korekciju, smanjivanje šuma i izoštravanje. No, ako se slika sprema u RAW format, navedene operacije se ne provode u samom fotoaparatu, već ih je kasnije moguće ručno podešavati u računalnim softverima za obradu fotografija, a to je glavna prednost RAW formata. Prilikom obrade RAW fotografija, uglavnom je potrebno smanjiti i dinamički raspon jer većina monitora nije sposobna prikazivati raspon veći od 8 bita po kanalu. Postoji mnogo softvera za obradu fotografija, no za potrebe ovog rada su korišteni *plug-in* Camera Raw i Adobe Lightroom, pa se njih malo više objasnilo. [20]

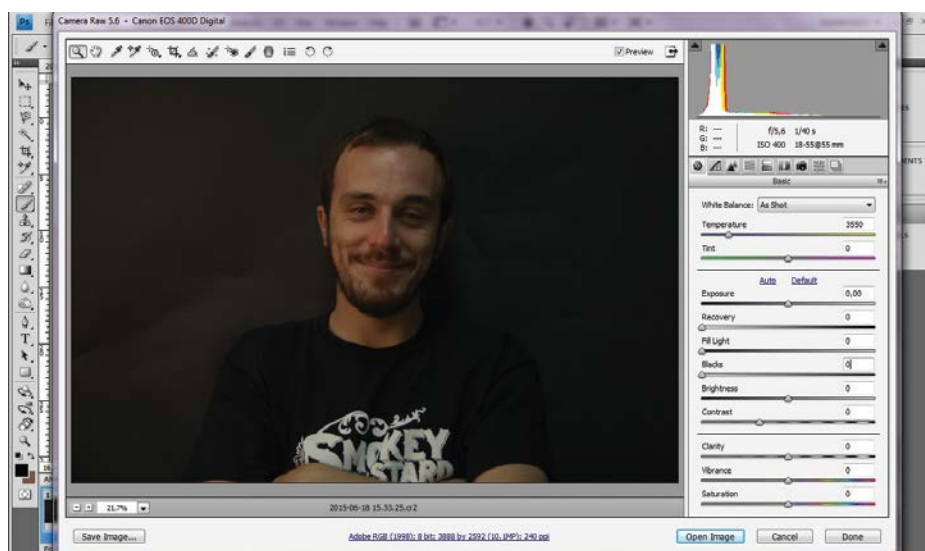
2.4.1. Digital Photo Professional

Proizvođač digitalnog fotoaparata izdaje u paketu s fotoaparatom softver za obradu RAW formata. Kod Canonovih fotoaparata taj program je Digital Photo Professional. Glavna prednost softvera za obradu RAW podataka od samog proizvođača jest ta da iskorištava sve informacije dobivene sa senzora, budući da zna sve o RAW formatu u kojem je slika spremljena jer mnogi proizvođači ne objavljuju sve karakteristike svog RAW formata, pa stoga nisu

sve informacije dostupne drugim proizvođačima RAW konvertora. Veliki nedostatak ovog programa je taj što podržava samo CR2 format, odnosno ne podržava RAW formate ostalih proizvođača digitalnih fotoaparata. [20]

2.4.2. Adobe Camera Raw

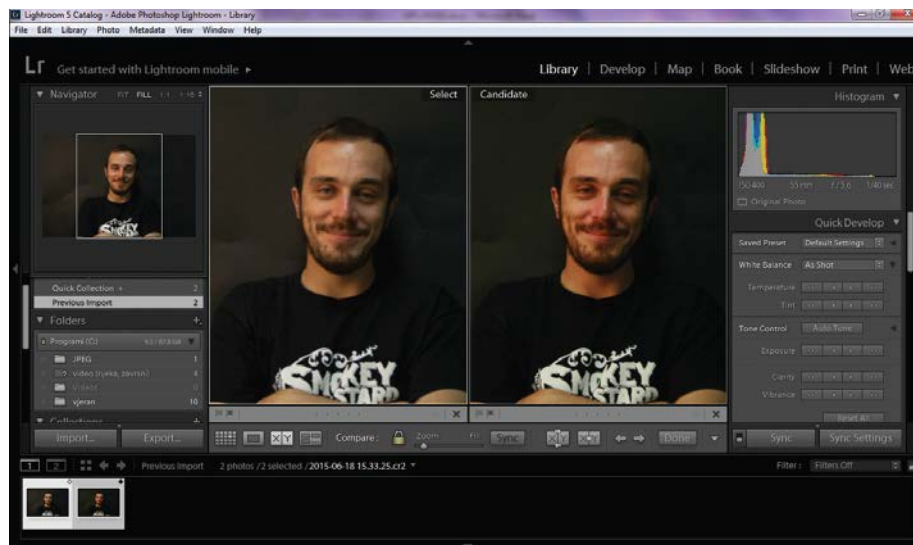
Adobe Camera Raw *plug-in* je izašao na tržište 2003. godine, integriran u Photoshop CS3 paket. Adobe je kupio tehnologiju jednog od najboljih RAW konvertora u ovom području, Pixmantec RawShootera i integrirao ju u svoj Camera Raw sistem. Zadržan je stari izgled softvera, no nadograđena je kvaliteta dobivenih fotografija. Pored svih stvari koje je imao RawShooter, ubačena je i mogućnost da se kromatske aberacije otklone još na nivou RAW obrade što uvelike omogućuje uštedu vremena i živaca. Naime, senzor formira boju iz kombinacije piksela različitih boja, a zbog kromatske aberacije se različite boje koje proizlaze iz iste točke pojavljuju na različitim točkama. Camera Raw je to riješio na način da se umjesto da se neki piksel plave boje kombinira s najbližim pikselom crvene boje, on se kombinira udaljenijim pikselom koji zapravo odgovara istoj točki u prostoru. Tako se kromatska aberacija otkloni već na početku. Zbog njegove integracije u Photoshop ovaj program i dalje nema ozbiljnog konkurenta među univerzalnim programima za predobradu fotografija (slika 10). [8]



Slika 10. Adobe Camera Raw 5.2

2.4.3. Adobe Lightroom

Adobe je izdao Lightroom u siječnju 2007.godine. Lightroom je Adobeov program za obradu, organizaciju i konverziju RAW formata, no služi i kao knjižnica za pohranu i pregled fotografija (slika 11). [9] Naime, *library* je knjižnica fotografija, koja omogućava brz pregled fotografija. Moguće je i postavljanje iste fotografije jedne do druge i pregled sa i bez podešavanja parametara. S obzirom na količinu parametara koji se mogu mijenjati, smatra se jednim od najboljih RAW konvertora. [8]



Slika 11. Adobe Lightroom 5 (compare view)

3. PRAKTIČNI DIO

Za potrebe ovog rada napravljeno je ispitivanje kojima se nastojalo definirati promjene određenih karakteristika fotografija koje su prošle kroz konverziju.

Napravljen je niz fotografija istog motiva snimljenih u CR2 (RAW format koje koriste Canonove fotografske aparate) i JPEG formatu kako bi se ispitale razlike između dva formata, ali su također snimljene CR2 fotografije na računalu konvertirane u JPEG format radi pobližeg uspoređivanja JPEG kompresija s obzirom na medij u kojem je kompresija provedena (u digitalnom fotoaparatu ili na računalu).

Za snimanje fotografija korišten je Canon EOS 400D fotoaparat s Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 objektivom. Mijenjajući elemente ekspozicije fotoaparata određuje se njihov utjecaj na samu kompresiju, što znači da je snimljena jedna normalno eksponirana, jedna preeksonirana i jedna podeksponirana fotografija istog motiva. Fotoaparat je snimio nekomprimiranu CR2 datoteku i JPEG Large datoteku u isto vrijeme (obje datoteke su dimenzija 3888x2592 px) te s istim ekpozicijskim vrijednostima. Pri snimanju fotografija korištena je veća osjetljivost (400/27 ISO) budući da je to osjetljivost koju često fotografi (pogotovo fotoreporteri) koriste pri snimanju objekata u pokretu kako bi mogli namjestiti kratko vrijeme eksponiranja.

Za računalnu konverziju CR2 formata u JPEG je korišten program Adobe Photoshop CS4, koji nudi vrijednosti kvalitete JPEG formata od 0 do 12. Slike su spremljene u vrijednostima 12 (maksimalna kvaliteta), 8 (visoka kvaliteta), 5 (srednja kvaliteta) i 1 (niska kvaliteta), kako bi se pobliže definirale kolorimetrijske i vizualne razlike među navedenim razinama kvalitete.

U prvom dijelu praktičnog rada su uspoređene kolorimetrijske vrijednosti snimljenih CR2 i JPEG, te onih fotografija koje su na računalu konvertirane iz CR2 u JPEG format. U drugom dijelu rada napravljena je vizualna usporedba određenih karakteristika fotografija, kao što su oštrina i šum, na primjeru portretne fotografije. Fotografije iz prvog i drugog dijela snimane su u istim

ekspozicijskim vrijednostima (iste ISO osjetljivosti, otvor objektiva i vrijeme eksponiranja).

3.1. Usporedba kolorimetrijskih vrijednosti

Za potrebe definiranja i uspoređivanja kolorimetrijskih vrijednosti koje prolaze kroz JPEG kompresiju u digitalnom fotoaparatu i na računalu, korištena je X-rite tablica s 24 polja (slika 12), odnosno 24 standardne boje najčešće kod realnih motiva. Tablica je snimana u CR2 i JPEG formatu tri puta – s različitim ekspozicijskim vrijednostima. Najčešće ju koriste znanstvenici u svojim istraživanjima na području reprodukcije boja, te fotografi kako bi definirali promjene boja i na taj način kasnije lakše proveli digitalnu manipulaciju na računalu.



Slika 12. X-rite Color Checker [21]

Prva dva polja na ovoj tablici prikazuju boju ljudske kože s obzirom na vodeće rasne skupine (tamna i svijetla koža). Treće polje prikazuje boju neba, četvrto boju lišća, peto boju plavog cvijeta, a šesto plavo-zelenu boju često zastupljenu u prirodi. Dakle, prvih 6 polja prikazuje prirodne boje. U sljedećem

redu se nalaze polja raznih boja: narančasta, ljubičasto-plava, svijetlo crvena, ljubičasta, žuto-zelena i narančasto-žuta. U sljedećem redu su primarne i sekundarne boje: plava, zelena, crvena, žuta, magenta i cijan. U zadnjem redu su polja sivih tonova, od bijele prema crnoj. [22]

Snimljene su fotografije u preekponiranim, podekspoziranim i normalno ekspoziranim CR2 i JPEG formatima na digitalnom fotoaparatu. Fotografije su prenesene na računalo, a potom su snimljene CR2 fotografije kompjuterski konvertirane u 4 različita stupnja JPEG kompresije. Koristeći Adobe Photoshop CS4 i njegov *plug-in* Camera Raw, izmjerene su L*a*b* vrijednosti svih 24 polja tablice na navedenim datotekama. Izmjerene L*a*b* vrijednosti na RAW datotekama su korištene kao referentne za računanje kolorimetrijskih promjena boja, ΔE_{00} , JPEG datoteka dobivenih konverzijom u fotoaparatu, te softverskom konverzijom.

3.1.1. Kolorimetrijske vrijednosti normalno ekspozirane fotografije

Tablice 1-6 prikazuju kolorimetrijske vrijednosti normalno ekspozirane fotografije snimljene u sljedećim tehničkim elementima snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme ekspoziranja 1/40

U tablicama u kojima su uspoređene kolorimetrijske vrijednosti JPEG formata s referentnim vrijednostima RAW-a, je izračunat i ΔE_{00} . Također je za svaku tablicu posebno izdvojen i ΔL , Δa i Δb , odnosno razlike u svjetlini (ΔL), razlike vrijednosti od zelene do crvene boje (Δa), te razlike vrijednosti od žute do plavoljubičaste boje (Δb), kako bi se točnije utvrdilo koji su se od parametara najviše ili najmanje promijenili kompresijom.

Tablica 1 prikazuje vrijednosti normalno ekspozirane CR2 datoteke mjerene u CIE L*a*b* sustavu boja.

Tablica 1: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog CR2 formata

Broj polja	L	a	b
1	14	10	12
2	35	13	12
3	24	-4	-16
4	18	-11	20
5	31	5	-16
6	43	-20	4
7	33	27	40
8	17	9	-32
9	25	30	12
10	10	12	-13
11	44	-16	44
12	46	16	55
13	11	10	-34
14	26	-26	22
15	19	28	19
16	48	5	55
17	30	30	-7
18	29	-14	-19
19	54	-1	0
20	42	-1	-1
21	32	-1	-1
22	23	0	0
23	14	0	1
24	7	0	0

Tablica 2 prikazuje kolorimetrijske vrijednosti 24 polja datoteke koja je u fotoaparatu nastala u isto vrijeme kad i CR2 fotografija čije su kolorimetrijske vrijednosti prikazane u tablici 1. ΔE_{00} prikazuje razliku istovjetnih boja na dva različita formata: JPEG i referentni CR2 format. Iz rezultata je vidljivo veliko odstupanje koje je vidljivo i golim okom, a najveća odstupanja su u području svjetline (L^*) čija je prosječna vrijednost razlike s obzirom na referentne vrijednosti 7,375.

Tablica 2: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog JPEG formata konvertiranog u fotoaparatu.

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	16	13	18	2	3	6	9,4437
2	44	21	20	14	8	8	9,9478
3	27	-5	-22	3	1	6	3,8721
4	21	-13	22	3	2	2	2,6388
5	38	9	-22	7	4	6	7,0672
6	54	-33	12	9	13	8	13,3432
7	43	42	48	10	15	8	10,8234
8	20	13	-41	3	4	9	3,7159
9	33	49	35	8	19	20	12,4981
10	10	9	-9	0	3	4	3,2313
11	58	-21	56	14	5	12	14,4804
12	60	21	58	14	5	3	13,9602
13	12	16	-40	1	6	6	3,3648
14	33	-33	26	7	7	4	6,3323
15	27	44	35	8	16	16	9,7356
16	64	5	63	16	0	8	15,0879
17	41	50	9	1	20	16	14,2186
18	37	-15	-25	8	1	6	7,0319
19	70	-1	0	16	0	0	13,6908
20	54	-1	0	12	0	1	11,8946
21	39	-5	0	7	4	1	7,7297
22	26	-1	0	3	1	0	2,618
23	14	-2	2	0	2	1	2,9261
24	6	-1	0	1	1	0	1,5726
				7,375	5,8333	6,2916	8,3844

Tablica 3 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 (čije su vrijednosti prikazane u tablici 1) u JPEG format maksimalne kvalitete (vrijednost kvalitete: 12). ΔE_{00} prikazuje puno prihvatljivije odstupanje od JPEG datoteke direktno iz fotoaparata. Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* koja uzima vrijednosti od žute do plavoljubičaste boje, potom u vrijednosti a^* koja predstavlja raspon od zelene do crvene boje. Najmanje promjene su se

dogodile kod vrijednosti L^* , koja predstavlja odstupanja svjetline, dok su odstupanja vrijednosti L^* kod JPEG formata konvertiranog u samom fotoaparatu bila najveća (tablica 2).

Tablica 3: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 12).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	14	9	12	0	1	0	1,0112
2	35	13	13	0	0	1	0,7148
3	24	-4	-15	0	0	1	0,5774
4	18	-12	20	0	1	0	0,8552
5	31	5	-15	0	0	1	0,5995
6	43	-19	4	0	1	0	0,6447
7	33	27	41	0	0	1	0,4711
8	17	9	-33	0	0	1	0,2903
9	25	30	13	0	0	1	0,594
10	10	11	-13	0	1	0	0,8878
11	44	-16	44	0	0	0	0
12	47	15	54	1	1	1	1,1377
13	11	10	-34	0	0	0	0
14	25	-26	23	1	0	1	0,8836
15	19	28	19	0	0	0	0
16	48	6	55	0	1	0	0,7086
17	30	30	-7	0	0	0	0
18	29	-14	-19	0	0	0	0
19	55	-1	0	1	0	0	0,9543
20	42	0	-2	0	1	1	1,7266
21	32	0	-2	0	1	1	1,7266
22	23	0	0	0	0	0	0
23	14	-1	2	0	1	1	1,6998
24	7	0	0	0	0	0	0
				0,125	0,375	0,4583	0,6451

Tablica 4 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format visoke kvalitete (vrijednost kvalitete: 8). ΔE_{00} prikazuje malo odstupanje od

referentnih vrijednosti tj. CR2 datoteke. Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja u vrijednosti L^* .

Tablica 4: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 8).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	14	9	12	0	1	0	1,0112
2	35	12	13	0	1	1	1,3591
3	24	-4	-14	0	0	2	1,1747
4	18	-12	20	0	1	0	0,8552
5	30	5	-15	1	0	1	0,9823
6	43	-20	4	0	0	0	0
7	33	27	41	0	0	1	0,4711
8	17	9	-33	0	0	1	0,2903
9	25	31	13	0	1	1	0,6383
10	10	11	-12	0	1	1	0,9139
11	44	-16	44	0	0	0	0
12	46	16	55	0	0	0	0
13	11	9	-34	0	1	0	0,9166
14	26	-26	22	0	0	0	0
15	19	29	20	0	1	1	0,5903
16	48	5	56	0	0	1	0,2907
17	30	30	-7	0	0	0	0
18	29	-13	-19	0	1	0	0,7706
19	55	-1	0	1	0	0	0,9543
20	41	0	-2	1	1	1	1,9465
21	32	0	-2	0	1	1	1,7266
22	23	0	0	0	0	0	0
23	14	0	2	0	0	1	0,9368
24	7	0	0	0	0	0	0
				0,125	0,417	0,5417	0,6595

Tablica 5 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format srednje kvalitete (vrijednost kvalitete: 5). ΔE_{00} prikazuje veće odstupanje od JPEG datoteka maksimalne i visoke kvalitete, ali i dalje prihvatljivo odstupanje

koje je puno manje od odstupanja JPEG-a koji je nastao u kameri. Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja u vrijednosti L^* .

Tablica 5: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 5).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	13	10	10	1	0	2	1,6191
2	35	15	11	0	2	1	2,0555
3	24	-4	-15	0	0	1	1,1747
4	19	-12	20	1	1	0	1,0934
5	30	6	-17	1	1	1	1,3201
6	43	-20	3	0	0	1	0,6788
7	33	28	41	0	1	1	0,4868
8	17	9	-33	0	0	1	0,2903
9	25	29	13	0	1	1	0,9044
10	11	11	-12	1	1	1	1,1097
11	43	-16	45	1	0	1	0,9968
12	46	16	57	0	0	2	0,6504
13	11	9	-34	0	1	0	0,9166
14	26	-25	23	0	1	1	0,8701
15	19	28	20	0	0	1	0,6031
16	48	6	56	0	1	1	0,7095
17	30	31	-7	0	1	0	0,4783
18	29	-13	-19	0	1	0	0,7706
19	55	0	0	1	1	0	1,7367
20	42	0	0	0	1	1	1,7325
21	32	-2	3	0	1	4	3,9778
22	23	0	0	0	0	0	0
23	15	-2	4	1	2	3	3,8341
24	7	0	0	0	0	0	0
				0,2917	0,7083	1,0	1,1671

Tablica 6 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format niske kvalitete (vrijednost kvalitete: 1). ΔE_{00} prikazuje najveće odstupanje od JPEG datoteka konvertiranih iz CR2 datoteke u Adobe Photoshopu, ali i dalje puno

prihvatljivije odstupanje od JPEG-a koji je nastao u kameri. Najveća, ali i dalje prihvatljiva odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja u vrijednosti L^* .

Tablica 6: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti normalno eksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 1).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	14	8	12	0	2	0	2,0658
2	35	11	9	0	2	3	2,2807
3	24	-3	-15	0	1	1	1,1005
4	18	-7	17	0	4	3	3,5727
5	30	7	-14	1	2	2	3,2554
6	43	-22	6	0	2	2	1,3311
7	32	29	42	1	2	2	1,2501
8	16	11	-34	1	2	2	1,3558
9	25	28	13	0	2	1	1,3571
10	11	12	-10	1	0	3	2,0989
11	44	-16	44	0	0	0	0
12	46	16	56	0	0	1	0,3275
13	11	9	-35	0	1	1	1,1778
14	26	-27	21	0	1	1	0,8598
15	19	28	15	0	0	4	2,4384
16	47	6	55	1	1	0	1,211
17	30	28	-7	0	2	0	0,9885
18	28	-15	-18	1	1	1	1,3141
19	54	0	0	0	1	0	1,451
20	42	0	0	0	1	1	1,7325
21	32	0	0	0	1	1	1,7325
22	23	0	0	0	0	0	0
23	14	0	0	0	0	1	0,978
24	6	0	0	1	0	0	0,6064
				0,2917	1,1667	1,25	1,4369

3.1.2. Kolorimetrijske vrijednosti preekspozirane fotografije

Tablice 7-12 prikazuju kolorimetrijske vrijednosti preekspoziranih fotografija snimljenih u sljedećim tehničkim elementima snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme ekspoziranja 1/20

Tablica 7 prikazuje vrijednosti normalno preekspozirane CR2 datoteke mjerene u CIE L*a*b* sustavu boja. Ove vrijednosti su uzete kao referentne.

Tablica 7: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preekspoziranog CR2 formata

Broj polja	L	a	b
1	25	15	17
2	51	16	17
3	37	-4	-18
4	31	-14	27
5	44	7	-17
6	59	-24	4
7	48	27	57
8	27	10	-40
9	38	37	17
10	20	16	-17
11	61	-20	54
12	66	14	76
13	19	13	-43
14	39	-33	29
15	29	40	29
16	68	4	77
17	44	39	-10
18	42	-20	-24
19	75	-1	1
20	59	0	1
21	47	0	0
22	36	1	1
23	24	1	2
24	15	1	1

Tablica 8 prikazuje kolorimetrijske vrijednosti 24 polja JPEG datoteke koja je u fotoaparatu nastala u isto vrijeme kad i CR2 fotografija čije su kolorimetrijske vrijednosti prikazane u tablici 7. Iz rezultata ΔE_{00} je vidljivo veliko odstupanje, a najveća odstupanja su, kao i kod normalno ekspanirane fotografije, u području svjetline (vrijednosti L^*) čija je prosječna vrijednost razlike s obzirom na referentne vrijednosti 11,0417.

Tablica 8: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preekspaniranog JPEG formata konvertiranog u fotoaparatu.

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	30	28	28	5	13	11	8,9134
2	66	20	19	15	4	2	13,7486
3	48	-7	-27	11	3	9	11,0603
4	38	-17	34	7	3	7	6,4845
5	59	12	-23	15	5	6	15,5589
6	71	-33	15	12	9	11	12,0593
7	60	36	54	12	9	3	12,9979
8	38	18	-57	11	8	17	9,7874
9	49	53	27	11	16	10	11,8503
10	22	20	-12	2	4	5	4,8906
11	77	-21	69	16	1	15	13,2313
12	79	13	67	13	1	9	10,0017
13	25	22	-59	6	9	16	5,9665
14	54	-48	47	15	15	18	16,0512
15	39	57	47	10	17	18	10,6401
16	84	-1	76	16	5	1	11,9309
17	63	53	-9	19	14	1	19,069
18	55	-25	-26	13	5	2	13,2017
19	88	-1	2	13	0	1	8,9061
20	74	-1	1	15	1	0	12,1944
21	61	0	0	14	0	0	13,4615
22	45	1	0	9	0	1	8,0311
23	28	0	5	4	1	3	4,2414
24	14	-1	3	1	2	2	3,5343
				11,0417	6,0417	7,0	10,7422

Tablica 9 prikazuje rezultate mjerenja L*a*b* kolorimetrijskih vrijednosti za preeksponiranu datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format maksimalne kvalitete (vrijednost kvalitete: 12). Od polja 7-12 su najmanja odstupanja, dok su odstupanja u zadnja 3 polja (crna i gradijenti sive) nešto veća. Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti a*. Najmanje promjene se se dogodile kod vrijednosti L*, koja predstavlja odstupanja svjetline, dok su odstupanja vrijednosti L* kod JPEG-a nastalog u fotoaparatu bila najveća.

Tablica 9: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 12).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	25	14	16	0	2	1	0,8008
2	51	17	16	0	1	1	1,2648
3	37	-4	-19	0	0	1	0,5187
4	31	-14	27	0	0	0	0
5	44	7	-17	0	0	0	0
6	59	-25	4	0	1	0	0,5586
7	48	28	57	0	1	0	0,5963
8	27	10	-40	0	0	0	0
9	38	37	17	0	0	0	0
10	20	16	-17	0	0	0	0
11	61	-20	54	0	0	0	0
12	66	14	76	0	0	0	0
13	19	12	-43	0	1	0	0,7965
14	39	-33	29	0	0	0	0
15	29	41	29	0	1	0	0,4604
16	68	3	77	0	1	0	0,5937
17	43	39	-10	1	0	0	0,9256
18	42	-20	-24	0	0	0	0
19	75	-1	2	0	0	1	0,9359
20	59	0	0	0	0	1	0,978
21	47	0	0	0	0	0	0
22	36	0	1	0	1	0	1,4611
23	24	0	2	0	1	0	1,4589
24	14	0	2	1	1	1	1,8875
				0,0833	0,4583	0,25	0,5515

Tablica 10 prikazuje rezultate mjerenja L*a*b* kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format visoke kvalitete (vrijednost kvalitete: 8). Opet su najmanja odstupanja bila od polja 7-12, a najveća na zadnja 3 polja. Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti a*, a najmanja kod vrijednosti L*.

Tablica 10: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 8).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	25	14	16	0	1	1	0,8008
2	51	17	17	0	1	0	0,8079
3	37	-4	-18	0	0	0	0
4	32	-14	27	1	0	0	0,7876
5	44	7	-17	0	0	0	0
6	59	-23	4	0	1	0	0,5731
7	48	28	56	0	1	1	0,8766
8	27	11	-41	0	1	1	0,4785
9	38	36	18	0	1	1	0,862
10	20	16	-17	0	0	0	0
11	61	-19	53	0	1	1	0,506
12	66	14	76	0	0	0	0
13	19	14	-43	0	1	0	0,789
14	39	-34	29	0	1	0	0,4533
15	29	40	29	0	0	0	0
16	68	4	77	0	0	0	0
17	44	39	-10	0	0	0	0
18	42	-21	-23	0	1	1	0,9309
19	75	-1	3	0	0	2	1,8378
20	58	0	1	1	0	0	0,8986
21	47	0	0	0	0	0	0
22	36	0	1	0	1	0	1,4611
23	24	0	1	0	1	1	1,7036
24	14	0	2	1	1	1	1,8875
				0,125	0,5417	0,4167	0,6523

Tablica 11 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format srednje kvalitete (vrijednost kvalitete: 5). Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja kod vrijednosti L^* . ΔE_{00} ima prihvatljivo odstupanje, s tim da najviše odstupa u polju 24 (crna boja).

Tablica 11: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 5).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	26	14	16	1	1	1	1,0866
2	51	16	17	0	0	0	0
3	37	-4	-19	0	0	1	0,5187
4	32	-14	26	1	0	1	0,9293
5	44	6	-19	0	1	2	1,9512
6	59	-25	4	0	1	0	0,5586
7	48	28	56	0	1	1	0,8766
8	27	11	-41	0	1	1	0,4785
9	38	38	18	0	1	1	0,5526
10	20	14	-15	0	2	2	1,5849
11	61	-18	53	0	2	1	1,0264
12	66	14	76	0	0	0	0
13	19	14	-43	0	1	0	0,789
14	40	-34	28	1	1	1	1,1534
15	29	40	29	0	0	0	0
16	68	4	77	0	0	0	0
17	44	40	-10	0	1	0	0,3904
18	42	-19	-23	0	1	1	0,6516
19	75	-1	3	0	0	2	1,8378
20	58	0	0	1	0	1	1,3281
21	48	0	0	1	0	0	0,982
22	36	3	0	0	2	1	2,839
23	24	2	3	0	1	1	1,5774
24	14	3	3	1	2	2	3,1701
				0,25	0,7917	0,8333	1,0118

Tablica 12 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format niske kvalitete (vrijednost kvalitete: 1). Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti a^* , a najmanja kod vrijednosti L^* . Rezultati mjerenja kolorimetrijskih vrijednosti su i dalje puno prihvatljiviji od onih kod JPEG formata koje je konvertirao fotoaparatus.

Tablica 12: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 1).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	26	17	17	1	2	0	1,8033
2	51	16	18	0	0	1	0,7531
3	37	-5	-18	0	1	0	0,9884
4	32	-17	25	1	3	2	2,8574
5	44	9	-18	0	2	1	1,5525
6	59	-25	5	0	1	1	0,7898
7	49	29	57	1	2	0	1,5473
8	27	11	-41	0	1	1	0,4784
9	38	37	18	0	0	1	0,5683
10	19	14	-15	1	2	2	1,7279
11	61	-20	53	0	0	1	0,3302
12	66	14	76	0	0	0	0
13	19	14	-43	0	1	0	0,789
14	39	-34	29	0	1	0	0,4533
15	28	40	28	1	0	1	0,9358
16	67	3	77	1	1	0	0,994
17	45	40	-9	1	1	1	1,0177
18	42	-17	-24	0	3	0	1,9383
19	75	0	0	0	1	1	1,7325
20	58	0	0	1	0	1	1,3281
21	47	0	0	0	0	0	0
22	35	0	0	1	1	1	1,9202
23	25	0	0	1	1	2	2,4758
24	14	0	0	1	1	1	1,8519
				0,4583	1,0417	0,7917	1,2014

3.1.3. Kolorimetrijske vrijednosti podekponirane fotografije

Tablice 13-18 prikazuju podekponirane fotografije snimljene u sljedećim tehničkim elementima snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme eksponiranja 1/100

Tablica 13 prikazuje vrijednosti premalo eksponirane CR2 datoteke mjerene u CIE L*a*b* sustavu boja.

Tablica 13: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preeksoniranog CR2 formata

Broj polja	L	a	b
1	4	4	3
2	17	10	5
3	10	-1	-13
4	6	-5	6
5	14	6	-15
6	24	-15	-1
7	16	17	21
8	6	6	-23
9	10	20	6
10	4	5	-7
11	24	-10	27
12	25	14	32
13	4	4	-19
14	11	-15	10
15	6	17	7
16	26	5	32
17	15	22	-7
18	14	-9	-17
19	31	0	-5
20	21	0	-5
21	16	1	-4
22	9	1	-2
23	5	0	-1
24	2	0	0

Tablica 14 prikazuje kolorimetrijske vrijednosti 24 polja JPEG datoteke koja je u fotoaparatu nastala u isto vrijeme kad i CR2 fotografija čije su kolorimetrijske vrijednosti prikazane u tablici 13. Iz rezultata ΔE_{00} je vidljivo veliko odstupanje. Za razliku od JPEG datoeka konvertiranih u fotoaparatu kod normalno ekponirane i preekponirane fotografije, najmanja odstupanja su kod vrijednosti L^* , a najveća u vrijednosti b^* . Najveće odstupanje je u polju 17 (magenta), pogotovo u vrijednosti b^* .

Tablica 14: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti preekponiranog JPEG formata konvertiranog u fotoaparatu.

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	4	5	5	0	1	2	1,9179
2	18	15	11	1	5	6	5,3721
3	10	0	-12	0	1	1	1,3715
4	6	-7	7	0	2	1	2,1505
5	14	6	-14	0	0	1	0,6418
6	28	-21	-1	4	6	0	5,0074
7	19	29	29	3	12	8	7,2887
8	6	8	-21	0	2	2	2,9237
9	15	30	18	5	10	12	8,4322
10	3	4	-2	1	1	5	4,1681
11	29	-13	30	5	3	3	4,3978
12	31	25	39	6	1	7	8,4854
13	3	5	-19	1	1	0	1,3338
14	13	-16	11	2	1	1	1,5321
15	10	27	15	4	10	8	7,2058
16	31	9	38	5	4	6	5,43
17	19	33	15	4	1	22	13,4055
18	18	-6	-19	4	3	2	4,1575
19	37	-2	-4	6	2	1	5,658
20	23	-1	-4	2	1	1	2,1704
21	16	0	0	0	1	4	3,8974
22	8	0	-2	1	1	0	1,5931
23	4	0	-1	1	0	0	0,5955
24	2	0	0	0	0	0	0
				2,2917	3,7083	3,875	4,1307

Tablica 15 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format maksimalne kvalitete (vrijednost kvalitete: 12). Najmanje promjene su se dogodile kod vrijednosti L^* , a najveća u vrijednosti a^* .

Tablica 15: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti podeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 12).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	5	5	3	1	1	0	1,3111
2	17	10	5	0	0	0	0
3	10	-2	-12	0	1	1	1,4109
4	6	-4	6	0	1	0	1,1565
5	15	6	-15	1	0	0	0,6543
6	24	-15	-1	0	0	0	0
7	16	17	21	0	0	0	0
8	6	7	-24	0	1	1	0,8136
9	10	20	6	0	0	0	0
10	4	6	-7	0	1	0	1,1328
11	25	-11	28	1	1	1	1,0919
12	25	14	31	0	0	1	0,4982
13	4	4	-19	0	0	0	0
14	11	-16	11	0	1	1	0,8464
15	6	17	7	0	0	0	0
16	26	5	32	0	0	0	0
17	15	22	-8	0	0	1	0,5784
18	14	-8	-17	0	1	0	0,8919
19	31	1	-6	0	1	1	1,6047
20	22	1	-4	1	1	1	1,7907
21	16	0	-4	0	1	0	1,4514
22	9	1	-2	0	0	0	0
23	5	0	0	0	0	1	0,978
24	2	0	0	0	0	0	0
				0,1667	0,4583	0,375	0,6754

Tablica 16 prikazuje rezultate mjerenja L*a*b* kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format visoke kvalitete (vrijednost kvalitete: 8). Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti a*, a najmanja kod vrijednosti L*.

Tablica 16: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti podeksponiranog JPEG formata konverziranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 8).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	4	5	3	0	1	0	1,1681
2	17	10	5	0	0	0	0
3	10	-2	-12	0	1	1	1,4109
4	6	-4	6	0	1	0	1,1565
5	15	5	-15	1	1	0	1,3631
6	24	-15	-1	0	0	0	0
7	15	17	21	1	0	0	0,6608
8	6	7	-23	0	1	0	1,0848
9	10	19	6	0	1	0	0,6499
10	4	6	-7	0	1	0	1,1328
11	24	-11	28	0	1	1	0,8153
12	26	15	31	1	1	1	1,4221
13	3	5	-21	1	1	2	1,3089
14	11	-16	11	0	1	1	0,8464
15	6	16	6	0	1	1	0,8929
16	26	6	31	0	1	1	1,2243
17	15	22	-8	0	0	1	0,5784
18	14	-8	-17	0	1	0	0,8919
19	30	-1	-6	1	1	1	1,7524
20	21	2	-6	0	2	1	2,8946
21	17	1	-3	1	0	1	1,0999
22	9	1	-2	0	0	0	0
23	5	0	0	0	0	1	0,978
24	2	0	0	0	0	0	0
				0,25	0,7083	0,5417	0,9722

Tablica 17 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format srednje kvalitete (vrijednost kvalitete: 5). Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja kod vrijednosti L^* .

Tablica 17: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti podeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 5).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	5	3	3	1	1	0	1,3718
2	17	10	5	0	0	0	0
3	9	-2	-12	1	1	1	1,5426
4	6	-6	6	0	1	0	1,1029
5	14	5	-15	0	1	0	1,1958
6	23	-14	-3	1	1	2	1,8981
7	16	18	21	0	1	0	0,8062
8	6	6	-24	0	0	1	0,401
9	9	20	6	0	0	0	0
10	4	6	-7	0	1	0	1,1328
11	24	-11	28	0	1	1	0,8153
12	26	14	31	1	0	1	0,8875
13	4	6	-23	0	2	4	2,2202
14	10	-15	10	1	0	0	0,6294
15	7	17	5	1	0	2	1,5191
16	26	5	31	0	0	1	0,4311
17	15	21	-9	0	1	2	1,4049
18	14	-8	-15	0	1	2	1,2953
19	31	-1	-4	0	1	1	1,6469
20	22	-1	-4	1	1	1	1,7907
21	16	0	-5	0	1	1	1,7061
22	9	2	-4	0	1	2	2,1388
23	5	0	0	0	0	1	0,978
24	2	0	0	0	0	0	0
				0,2917	0,6667	0,9583	1,1214

Tablica 18 prikazuje rezultate mjerenja $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskih vrijednosti za datoteku koja je u Adobe Photoshopu konvertirana iz CR2 u JPEG format niske kvalitete (vrijednost kvalitete: 1). Najveća odstupanja su se dogodila kod vrijednosti b^* , a najmanja kod vrijednosti L^* .

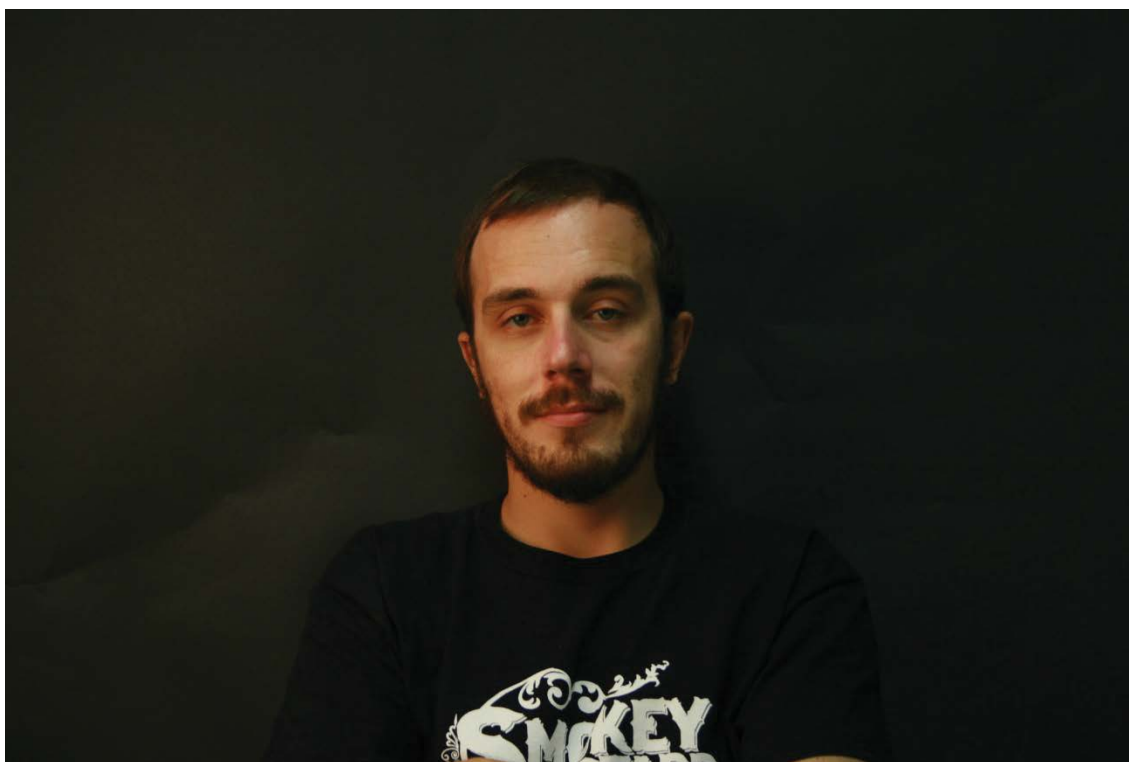
Tablica 18: Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti podeksponiranog JPEG formata konvertiranog u Adobe Photoshopu (vrijednost kvalitete: 1).

Broj polja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE_{00}
1	5	4	5	1	0	2	1,8481
2	16	9	7	1	1	2	2,1407
3	10	-1	-11	0	0	2	1,2903
4	7	-2	5	1	3	1	3,6699
5	14	9	-16	0	3	1	3,0491
6	23	-18	1	1	3	2	2,6776
7	16	18	22	0	1	1	0,706
8	6	7	-24	0	1	1	0,8136
9	11	22	10	1	2	4	2,6954
10	4	7	-4	0	2	3	3,508
11	24	-10	26	0	0	1	0,4924
12	25	13	32	0	1	0	0,8864
13	4	6	-23	0	2	4	2,2202
14	11	-18	11	0	3	1	2,1024
15	6	16	6	0	1	1	0,8929
16	26	6	31	0	1	1	1,2243
17	15	21	-9	0	1	2	1,4049
18	14	-8	-15	0	1	2	1,2953
19	31	2	-5	0	2	0	2,8691
20	22	2	-6	1	2	1	2,9787
21	16	2	-6	0	1	2	2,026
22	11	0	0	2	1	2	2,678
23	4	0	0	1	0	1	1,145
24	2	0	0	0	0	0	0
				0,375	1,3333	1,5417	1,8589

3.2. Vizualna usporedba fotografija

U prvom dijelu rada su uspoređene kolorimetrijske vrijednosti različitih formata na temelju snimljenih testnih tablica s 24 polja. Za potrebe drugog dijela praktičnog rada se uspoređuju ostale razlike snimanjem niza fotografija istog motiva (portretna fotografija) u CR2 i JPEG large formatu. Kao i ranije, snimljene CR2 datoteke su uz pomoć programa Adobe Photoshop i Camera Raw-a konvertirane u četiri JPEG datoteke različitih razina kompresije (vrijednosti kvalitete: 12, 8, 5 i 1). Snimljena je ponovno jedna podeekponirana, jedna preekponirana i normalno ekspanirana fotografija istog motiva istih vrijednosti ekspozicije kao i u prvom dijelu praktičnog rada. Cilj je uočiti i usporediti te razlike na realnom motivu te zaključiti kako, i da li uopće, one utječu na kvalitetu fotografije.

3.2.1. Usporedba RAW-a i JPEG-a direktno iz fotoaparata



Slika 13. JPEG fotografija direktno iz aparata

Na slici 13 je prikazana fotografija JPEG formata direktno iz fotoaparata. Ova slika odmah djeluje iskoristivo: svjetlina, kontrast i udio tamnih tonova je

zadovoljavajući. Fotografija je snimana u sljedećim tehničkim elementima snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme eksponiranja 1/40

Na slici 14 je prikazana RAW, odnosno CR2 verzija iste fotografije kao na slici 13, budući da je snimano u RAW+JPEG načinu rada. Ova fotografija za razliku od njene JPEG verzije djeluje dosta monotono s obzirom da joj nedostaje kontrasta i svjetline.



Slika 14. CR2 fotografija direktno iz aparata

Na prvi pogled je očita razlika u sastavu boja koja je već ispitana u prvom dijelu praktičnog rada. Tu se razliku može shvatiti kao posljedicu principa JPEG kompresije koja odlučuje koje su informacije na fotografiji manje a koje su više bitne ljudskom oku, te iskorištava činjenicu da je ljudsko oko osjetljivije na promjene u luminaciji nego promjene u tonu boje. Također, najviše je očita razlika u samom kontrastu i svjetlini, kao i zasićenju crnom bojom. Ovaj proces

se dešava tijekom zapisivanja datoteke unutar memorije samog fotoaparata. Zoomirana i izrezana slika iz prethodna dva primjera prikazuje tu razliku (slika 15).



Slika 15. Usporedni prikaz RAW i JPEG verzije iste fotografije direktno iz fotoaparata

Slike se uspoređene u Adobeovom programu Lightroom. To je napravljeno iz razloga što za razliku od Camera Raw-a, Lightroom ne nudi samo mogućnost korištenja više alata već i usporedni prikaz koji nam olakšava sam proces utvrđivanja razlika između fotografija. Uspoređivanjem slika u programu, zaključeno je da je razlika točno:

- + 40 vrijednosti *brightness* (svjetlina)
- + 30 vrijednosti *contrast* (kontrast)
- + 5 vrijednosti *black* (zasićenje crne boje)

CR2 fotografiji su dodane navedene vrijednosti svjetline, kontrasta i zasićenja crne boje, te je slika potom prebačena u *greyscale* radi usporedbe, odnosno kako bi se lakše uočile druge razlike, poput oštine i šuma. Fotoaparat obično dodaje oštrinu prilikom JPEG kompresije no snimljene fotografije su

zbog lošijeg osvjetljenja snimljene s osjetljivošću 400/27 ISO, te je na slici 16, nakon što su dodane navedene vrijednosti RAW verziji kako bi se izjednačila s JPEG verzijom, očito da je razina šuma na RAW verziji veća od razine šuma na JPEG-u. Zanimljivo, više šuma znači i više oštine, odnosno više detalja, što je najviše uočljivo kod područja obrva.



Slika 16. Usporedba šuma kod RAW i JPEG verzije iste fotografije

Na slici 17 su prikazane mogućnosti koje se mogu postići obradom fotografija u programu Lightroom. Problem slike 16 je što RAW fotografija ima previše šuma, dok JPEG fotografija ima premalu oštrinu, pa se softverskom obradom fotografija pokušalo ispraviti te nedostatke i usporediti ih. RAW

fotografiji kojoj su prethodno dodane vrijednosti svjetline, kontrasta i zasićenja crnom bojom, je potom i povećana vrijednost smanjenja šuma (eng. *noise reduction*), a JPEG fotografiji je povećana oštrinu (eng. *sharpening*). Nedvojbeno bolji rezultat se dobiva obradom RAW fotografije, koja je u potpunosti izgubio šum, ali bez gubitka detalja na slici. No, JPEG fotografija je povećanjem oštrine dobila šum. Naknadnom upotrebom alata za redukciju šuma koji je korišten kod RAW fotografije nije se moglo dobiti jednako glatku i detaljnu sliku kao kod RAW verzije.



Slika 17. Usporedba obrađenog šuma i oštrine kod RAW i JPEG fotografije

Za dobivanje preeksponiranog primjera motiva, korišteni su sljedeći tehnički elementi snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme eksponiranja 1/20



Slika 18. Usporedni prikaz RAW i JPEG verzije preeksponirane fotografije direktno iz fotoaparata

Na slici 18 JPEG slika djeluje eksponiranije od CR2 formata. Ispitivanjem u Lightroomu je utvrđeno da je ovaj put kamera dodala više svjetline JPEG fotografiji, što je potvrdilo ispitivanja iz prvog dijela praktičnog rada: što se radi o većoj ekspoziciji to se JPEG-u više svjetline dodaje prilikom kompresije.

Dodane vrijednosti CR2 fotografiji ovog puta su:

- + 50 vrijednosti *brightness* (svjetlina)
- + 30 vrijednosti *contrast* (kontrast)
- + 5 vrijednosti *black* (zasićenje crne boje)

U naknadnoj obradi u Lightroomu, RAW formatu su dodane navedene vrijednosti, te je reducirana ekspozicija za -1,0. Na slici 19 se primjeti da je RAW za razliku od JPEG-a ipak zadržao određene tonske detalje unatoč tome što je riječ o preeksponiranoj slici. Na JPEG slici se uočavaju neralne boje i gradacije tonova zato jer nije u mogućnosti popraviti visoko-frekventne tonove koje je fotoaparatus zapisao, a to je pogotovo vidljivo na području čela.



Slika 19. Usporedni prikaz obrađenih RAW i JPEG verzija preeksponirane fotografije

Za dobivanje podeskponiranog motiva korišteni su slijedeći elementi snimanja:

- osjetljivost 400/27 ISO
- otvor objektiva 5,6
- vrijeme eksponiranja 1/100



Slika 20. Usporedni prikaz RAW i JPEG verzije podeksponirane fotografije

Na slici 20 JPEG slika djeluje malo eksponiranije od CR2 formata. Ispitivanjem u Lightroomu je utvrđeno da je ovaj put fotografski aparat dodao puno manje svjetline JPEG fotografiji nego što je to slučaj kod preeksonirane i podeksponirane fotografije i opet je potvrđeno ispitivanje iz prvog dijela praktičnog rada. Također je povećano zasićenje crne boje. Dodane vrijednosti CR2 fotografiji ovog puta su:

- + 10 vrijednosti *brightness* (svjetlina)
- + 30 vrijednosti *contrast* (kontrast)
- + 10 vrijednosti *black* (zasićenje crne boje)

Povećanjem ekspozicijem za +1,0 u programu Lightroom je, kao i kod primjera preeksonirane fotografije, RAW za razliku od JPEG-a ipak zadržao određene tonske detalje unatoč tome što je riječ o podeksponiranoj slici. Na JPEG slici se opet uočavaju neralne boje i gradacije tonova (slika 21).



Slika 21. Usporedni prikaz obrađenih RAW i JPEG verzija podeksponirane fotografije

3.2.2. Usporedba RAW i softverski konvertiranog JPEG formata

Na fotografijama koje su softverski konvertirane iz CR2 formata u JPEG format vrijednosti kvalitete 12, 8, 5 i 1 nemaju velike razlike u bojama koja je vidljiva ljudskom oku (premda je prvi dio praktičnog rada da ona ipak postoji, samo za razliku od JPEG-a direktno iz fotografskog aparata nije ljudskom oku toliko očita), ali su uočene neke druge razlike prikazane na slici 15. Na JPEG fotografijama (pogotovo na kvaliteti JPEG-a vrijednosti 1) se mogu prepoznati 8x8 blokovi piksela na kojima je primjenjena diskretna kosinusna transformacija, posljedica čega je stvaranje visoko frekventnih područja i tzv. artefakata koji nisu oku ugodni. Za razliku od softverske konverzije RAW-a u JPEG, na JPEG-u direktno iz fotoaparata ne dolazi do pojave artefakata (slika 22).



Slika 22. Usporedni prikaz RAW i softverske JPEG konverzije različitih razina kvalitete

4. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultatima koji su dobiveni prvim dijelom istraživanja utvrđeno je da, premda JPEG kompresija u fotografskom aparatu smanjuje datoteku i do 4 puta, najveća softverska kompresija smanjuje datoteku i do 75 puta, no s puno manjim kolorimetrijskim promjenama nego JPEG kompresija u fotoaparatu.

Najveća odstupanja u vrijednosti su primjećena kod JPEG formata koji je konvertiran u samom digitalnom fotoaparatu. To se može povezati s činjenicom da JPEG kompresija u fotoaparatu sadrži algoritme (različiti od modela do modela fotoaparata) koji automatski dodaju kontrast, svjetlinu, zasićenje crne boje i sl., budući da proizvođač kreće s pretpostavkom da se JPEG fotografija neće puno računalno obrađivati koliko bi se trebala obrađivati RAW fotografija. Njoj bi se u naknadnoj digitalnoj manipulaciji svakako trebao dodati barem kontrast, svjetlina i zasićenje crne boje, budući da RAW fotografije izgledaju pretamno i nedostaje im kontrasta.

No, zanimljivo je da se vrijednost kojom se izražava razlika boja (ΔE_{00}) s obzirom na referentne vrijednosti, smanjuje sa smanjenjem ekspozicije (u promatranim granicama), odnosno, što je slika podeksponiranija, promjena u boji je manja. No, kod softverske kompresije na računalu je situacija obrnuta, odnosno, što je slika eksponiranija, vrijednost kojom se izražava razlika u boji s obzirom na CR2 fotografiju je manja. To se može objasniti činjenicom da je JPEG, koji je kreiran softverski, ipak konvertiran iz RAW slike koji je uvijek malog kontrasta i tamnijih boja, dok JPEG iz fotoaparata automatski dodaje veliku količinu kontrasta i svjetline zbog stava proizvođača da takav JPEG nije namijenjen obradi na računalu. Dakle, algoritam koji koristi softver dodaje manju količinu kontrasta i svjetline, jer tome služe programi za obradu fotografija.

Također, primjećeno je da su sve JPEG fotografije konvertirane u fotoaparatu imali najveću promjenu u svjetlini (L^*), osim kod podeksponirane fotografije. To se može objasniti činjenicom da JPEG kompresija iskorištava nedostatke ljudskog oka, odnosno činjenicu da su razlike u svjetlini ljudskom oku manje uočljive od razlika u tonovima boja, ali i činjenicu da ljudsko oko bolje

reagira na kontrast nego na promjene u bojama. S obzirom da je podeksponirana fotografija većinom sadrži piksele s tamnim tonovima, JPEG kompresija ima ograničeno djelovanje jer nema puno prostora za stvaranje većeg kontrasta.

Premda su kolorimetrijske razlike puno veće kod JPEG-a direktno iz fotoaparata, kod softverski generiranog JPEG-a je veliki nedostatak pojava artefakata koji su posljedica DCT transformacije.

Pri ispitivanju je također ustanovljeno da se RAW formatom dobiva širi dinamički raspon, te detaljniji i oštrij prikaz slike, a ispravljanjem nedostataka naknadnom obradom u softverima za obradu fotografija će se postići bolji rezultati nego kod JPEG formata, budući da su kod njega određeni podaci o pikselima bespovratno izgubljeni kompresijom u fotoaparatu.

5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu prikazano je kako kompresija utječe na kvalitetu fotografije. Ispitala se i softverska kompresija i kompresija provedena u samom fotoaparatu. Utvrđeno je da je pri većim stupnjevima softverske kompresije uočljiva pojava artefakata, a kod JPEG-a izravno iz fotoaparata su uočljive velike kolorimetrijske razlike te su to glavne razlike koje su vidljive ljudskom oku bez velikih uvećavanja same slike. Naravno, ove promjene ovise o karakteristikama fotoaparata (senzora) tj. njihovoj mogućnosti reproduciranja određenog broja detalja, te samom algoritmu kompresije koji se provodi u fotoaparatu a različit je od proizvođača do proizvođača.

Ispitivanjem provedenom u praktičnom dijelu je također potvrđeno da RAW fotografija daje najbolje rezultate nakon naknadne softverske obrade. Ipak JPEG zauzima nekoliko puta manje prostora na mediju za pohranu podataka, što je za profesionalne fotografe vrlo bitno. JPEG je također kompatibilan s većinom operativnih sustava te se bez problema može otvarati i obrađivati u bilo kojem programu koji je tome namijenjen, dok su za obradu RAW fotografija potrebne posebne ekstenzije i softveri.

Ipak, snimanje u oba formata usporedno omogućuje fotografu da odabere fotografije s kojima je zadovoljan kako su ispale u JPEG formatu te tako ne gubi vrijeme naknadno obrađujući te fotografije, dok kod fotografija s kojima nije zadovoljan njihovim konačnim izgledom u JPEG formatu, ima mogućnost digitalne postprodukcije RAW verzije fotografije. No, za ovakav način snimanja je potrebno imati memorije u rezervi, bilo u obliku memorijskih kartica ili uređaja za pohranu podataka. Snimanje RAW fotografija također zahtijeva dužu obradu samog fotoaparata pa nije najbolji izbor kada se snima u brzini. Mnogi fotografi ipak snimaju svoje fotografije isključivo u RAW formatu zato jer žele najbolju moguću kvalitetu svake fotografije, a naknadna JPEG kompresija je ipak moguća na računalo, te daje manja kolorimetrijska odstupanja od JPEG-a iz fotoaparata kako je i zaključeno u praktičnom dijelu. Za fotografije koje će se koristiti na web ili mobilnim platformama je veliki nedostatak ako one zahtijevaju puno vremena sa strane fotografa da ih *uploada*, te puno vremena sa strane

posjetitelja tih web stranica da mu se učitaju, pa je zato JPEG format i tu najbolji izbor, kao i kada je potrebno kontinuirano snimanje većeg broja fotografija i snimanje objekata u pokretu.

No, koji zapis koristiti i pod kojim uvjetima je pitanje koje je postavljeno na početku ovog rada. Na kraju to ovisi isključivo o fotografu te njegovim potrebama. Ovim radom je zaključeno da su oba zapisa vrijedna i potrebna u svijetu digitalne fotografije, sa svojim prednostima i manama.

6. LITERATURA

1. *** <http://photo.net/learn/jpeg/> - *Jpeg Compression - photo.net*, 8.5.2015.
2. Bota, Josip. (2009). *Analiza i kontrola kvalitete subjektivne procjene foto ispisa kod JPEG kompresije*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
3. *** http://en.wikipedia.org/wiki/Image_quality - *Image quality - Wikipedia, the free encyclopedia*, 8.5.2015
4. Stipanović, Ana. (2013). *Utjecaj kompresije na kvalitetu slike*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
5. *** <http://www.bbc.co.uk/education/guides/zqyrq6f/revision> - *BBC Bitesize - GCSE Computer Science – Encoding Images – Revision 1*, 18.5.2015
6. *** <http://fotografija.hr/8-bita-ili-16-bita/> - *Fotografija.hr | fotografska i vizualna kultura*, 22.5.2015
7. *** <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/RAW-file-format.htm> - *Tutorials - The RAW File Format*, 10.6.2015
8. Penava, Lucija. (2013). *RAW format u fotografiji*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
9. Cumbo, Marina. (2014). *Usporedba JPEG i NEF formata zapisa digitalne fotografije*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
10. Viswanathan, G. K., Lotus, R. (2007). *Comparison and analysis of Image File Formats*, dostupno na:
https://www.academia.edu/8237100/Comparison_and_Analysis_of_Image_File_Formats, 21.6.2015
11. Ćuk, Mihaela. (2009). *Predobrada digitalnih fotografija snimljenih u RAW formatu*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.

12. Verhoeven, G. J. J. (2010). *It's all about the format – unleashing the power of RAW aerial photography*. dostupno na: https://www.academia.edu/423621/Its_All_About_the_Format_Unleashing_the_Power_of_RAW_Aerial_Photography, 3.6. 2015.
13. Fajta, Zrinka., Vlaić, Matko. (2013). *Utjecaj kompresije na kvaliteu slike*. Seminarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
14. Busch, David. (2011). *Digital SLR photography*. Cengage Learning PTR. Boston, US.
15. Mijić, Josip. (2014). *Stupanj kompresije i utjecaj na kvalitetu WEBP formata slike*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
16. Ang, Tom. (2006). *Complete Digital Photography*. Stackpole Books. Mechanicsburg, US.
17. *** [https://hr.wikipedia.org/wiki/RGB - RGB - Wikipedija](https://hr.wikipedia.org/wiki/RGB_-_RGB_-_Wikipedija), 11.6.2015
18. Žeželj, Teo. (2014). *Utjecaj konverzije formata zapisa na tehničke karakteristike digitalne portretne fotografije*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
19. Ming Ronnier, L., (2006). *Applying colour science in colour design*, ScienceDirect
20. Volarić, Nikola. (2010). *Upotreba RAW formata u HDR fotografiji*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
21. *** <http://www.adorama.com/dkmcc.html> - *X-Rite Color Checker Exposure Aid, 8-1/2x11*. 17.7.2015
22. *** [https://en.wikipedia.org/wiki/ColorChecker - Color Checker - Wikipedia, the free encyclopedia](https://en.wikipedia.org/wiki/ColorChecker_-_Color_Checker_-_Wikipedia,_the_free_encyclopedia), 17.7.2015