

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

ZRINKA JAKOPČEVIĆ

UTJECAJ IZVORA SVJETLA NA  
PERCEPCIJU FOTOGRAFSKE SLIKE

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2016.



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

ZRINKA JAKOPČEVIĆ

# UTJECAJ IZVORA SVJETLA NA PERCEPCIJU FOTOGRAFSKE SLIKE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Miroslav Mikota

Student:

Zrinka Jakopčević

Zagreb, 2016

## SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je utjecaj izvora svjetla na percepciju fotografske slike. Na kvalitetu i karakteristike otiska možemo utjecati odabirom tehnike ispisa. Utjecaj svjetla kojem je fotografija izložena ima veliku ulogu u dojmu kakav fotografija ostavlja na krajnjeg korisnika kojem je namjenjena. Naravno, nije svaki motiv najbolji pod istim svjetlom, samim tim treba izvor svjetla prilagoditi motivu koji je na fotografiji. Također se u različitim digitalnim programima može utjecati na postavke koje trebamo prilagoditi, ako znamo pod kakvim svjetlom će fotografija biti izložena. Možemo se fokusirati na tri standardna motiva fotografije: mrtvu prirodu, pejzaž i portret. Svakom od tih tri motiva je potreban različit izvor svjetla kako bi snimljena fotografija ostavila najbolji mogući dojam na krajnjeg korisnika, koji nipošto nije isti za sve motive. Vrlo je važno uvidjeti kako promjena izvora svjetla utječe na promatrača. Ako svjetlost koja stvara podražaj nije optimalna za određenu fotografiju onda promatraču nije privučena pažnja na način na koji je to zamišljeno, te sama fotografija gubi na kvaliteti iako je možda sve na fotografiji odrađeno najkvalitetnije moguće. Potrebno je stoga odrediti pod kojim izvorom svjetla će već obrađena fotografija sa određenim motivom biti maksimalno funkcionalna i optimalna za daljnju upotrebu, kako u umjetničkoj, tako i u drugim vrstama fotografija.

Ključne riječi: Motivi fotografija, prostori boja, tehnike ispisa, izvori svjetla

## ABSTRACT

The theme of this diploma thesis is the impact of light sources on the perception of the photographic image. The quality and characteristics of the fingerprint can be affected by choosing print techniques. The impact of light which is exposed photo has a big role in what kind of impression photo leaves on the user which is intended. Of course, not every motive best under the same light, therefore, be a source of light to adjust the motive of which is in the photograph. It is also in a variety of digital programs can affect the items that we need to adapt, if we know under what light will be exhibited. We focus on three standard photo motifs: still life, landscape and portrait. Each of these three motives is required different light source to image shot left the best impression to the end user, who is by no means the same for all subjects. It is very important to see how the changes of the light source affects the viewer. If the light that creates the stimulus is not optimal for a particular photo then the viewer is not drawn attention to the way it was meant to be, and the photographs losing quality although perhaps all the photos done the best possible. It is therefore necessary to determine under which light source will already processed photos with a specific motif to be maximally functional and optimized for future use, as in art, as well as in other types of photography.

**Keywords:** Motives photos, color spaces, the art of printing, light sources

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1 Fotografija .....	2
2.1.1 Počeci digitalne fotografije.....	2
2.1.2 Digitalna i klasična fotografija .....	4
2.1.3 Digitalna fotografija.....	5
2.1.4 Prikaz teksta kao slike.....	6
2.1.5 Pikseli.....	7
2.2 Standardni motivi fotografija .....	9
2.2.1 Portret.....	9
2.2.2 Pejzaž i vrste pejzažne fotografije .....	12
2.2.3 Mrtva priroda .....	19
2.3 Prostori boja .....	22
2.3.1 Aditivna sinteza .....	22
2.4 Suptraktivna sinteza .....	24
2.4.1 CIEXYZ prostor boja.....	24
2.4.2 CIE L*a*b* prostor boja.....	27
2.4.3 RGB prostori boja .....	29
2.4.4 CMY(K) prostor boja.....	31
2.5 Tehnike ispisa digitalne fotografije.....	32
2.6 Laserski pisači - elektrofotografija.....	33
2.7 Sublimacijski pisači .....	35
2.8 <i>Ink-Jet</i> pisači .....	37
2.9 Standardni izvori svjetla.....	40
2.9.1 Svjetlost .....	40
2.9.2 Prirodni izvor svjetla.....	40
2.9.3 Umjetna rasvjeta .....	41
2.9.4 Vrste svjetlosti - CIE Standardni Illuminanti .....	41
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	46
3.1 Opis istraživanja.....	46
3.2 Istraživanje kvalitativnom metodom.....	50

3.2.1	Princip provođenja istraživanja .....	52
3.3	Istraživanje kvantitativnom metodom.....	53
3.3.1.	Mjerni uređaji korišteni u istraživanju.....	53
4.	REZULTATI I RASPRAVA .....	56
4.1	Kvalitativni dio istraživanja .....	56
4.1.1	Kvalitativni dio istraživanja za portret.....	56
4.1.2	Kvalitativni dio istraživanja za mrtvu prirodu .....	57
4.1.3	Kvalitativni dio istraživanja za pejzaž .....	58
4.2	Kvantitativni dio istraživanja .....	59
4.1.1.	Rezultati istraživanja digitalnim fotografskim laboratorijem.....	59
4.1.2.	Rezultati istraživanja spektrofotometrom.....	62
5.	ZAKLJUČAK.....	64
6.	LITERATURA .....	67

## 1. UVOD

Fotografije realizirane ispisom digitalnog zapisa se konzumiraju na različitim mjestima u različitim svjetlosnim uvjetima. Ovi su svjetlosni uvjeti primarno definirani temperaturom izvora svjetla uz pretpostavku konstantne osvjetljenosti realizirane fotografske slike, prije svega u formi fotografije realizirane ispisom jednom od dominantnih ili alternativnih tehnika. Pri tome se smatra da se, prema ranije navedenom kriteriju, fotografije u pravilu konzumiraju uz tri standardna, odnosno definirana, izvora svjetla – relativno hladnom svjetlu (store light), bijelom svjetlu (daylight) i relativno toplom svjetlu (home light). Promjene u temperaturi izvora svjetla uzrokuju sukladno tome različitu percepciju tako konzumiranih fotografija pri čemu se mijenja i njihova poruka, tj. semantička vrijednost, koju konkretno prenosi određena tj. promatrana fotografska slika. U radu se različitim i definiranim vizualnim (u pravilu subjektivnim) kvalitativnim i mjernim odnosno kvantitativnim metodama određuje utjecaj temperature izvora svjetla na percepciju fotografske slike praćenjem promjena ukupnog doživljaja odabranih fotografskih motiva i kolorimetrijskih vrijednosti standardnih boja karakterističnih fotografskih motiva.

U svrhu izrade ovog rada i vezanog istraživanja pristupilo se izradi digitalnih fotografskih slika najčešćih fotografskih motiva pritom koristeći dostupnu fotografsku opremu. Digitalni zapisi fotografija obradili su se sukladno zahtjevima koji se stavljaju pred fotografa čiji je zadatak pripremiti fotografiju za neku od tehnika ispisa. Po izvršenju tog dijela rada pristupilo se ispisu fotografija na dostupnim i najčešće korištenim uređajima za realizaciju fotografije, u pravilu onima za ispis digitalnih fotografija. Tako dobiveni uzorci su analizirani kolorimetrijskim kvantitativnim metodama te u konačnici vizualnim metodama subjektivne procjene te se pristupilo usporedbi tako dobivenih rezultata.

Cilj rada je pokazati na koji način i u kojoj mjeri postoji korelacija između izbora definiranih izvora svjetla određene temperature.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Fotografija

Fotografiju se može definirati na mnogo načina. Kroz oko umjetnika ona je način vizualnog izražavanja. To je medij preko kojeg se mogu izraziti razne misli, osjećaji i dojmovi. Fotografija je sredstvo kojim bilježimo događaje i prizore na vrlo realan način i u trenu. Amateri vole fotografirati obiteljska druženja, te važne događaje u životu, poput vjenčanja i krštenja, te tako popunjavaju obiteljske albume. Svi ti načini korištenja fotografije nam govore koliko je fotografija prisutna u životima. Dok se u prošlosti koristila samo da bi se zabilježio neki bitni događaj, osoba ili objekt, danas se koristi u svim aspektima života – da se podijele obični trenuci, te također kao sredstvo komunikacije sa svijetom.

#### 2.1.1 Počeci digitalne fotografije

Iako bi se moglo pomisliti da povijest digitalnih fotografskih aparata počinje relativno nedavno pojavom istih na svjetskom tržištu, ona ide mnogo dalje nego bi se moglo i zamisliti. Prvobitna zamisao o „električnoj“ fotografiji korištena je za razvoj tehnologija tipičnih za razvoj televizije još 1908. Tijekom šezdesetih godina, značajnih po prvom letu u svemir, u NASA-i je zaprimljena prva elektronska slika poslana s videokamere satelita Mariner IV sa snimkom nadolazećeg Marsa. Godine 1968. dizajniran je prvi patent čvrstog uređaja koji je nizom fotodioda slijedio principe sakupljanja podataka iz ploče na koju je pala svjetlost. Uređaj je patentirala korporacija Philips. Godina 1969. smatra se pravim datumom rođenja digitalne fotografije. Tada je nastao najbitniji element koji je nedostajao za komercijalnu uspješnost digitalnih fotoaparata, a to je senzor CCD – *Charged-coupled Device* koji je mogao zabilježiti sliku i prenijeti je do procesora za obradu slike. Ovaj integrirani krug osmislili su Willard Boyle i George Smith. Svi ostali bitni dijelovi preneseni su iz klasične fotografije (zatvarači, optika i sl.) ili iz računalne tehnologije (procesori, memorija). Da bi se došlo do pravog digitalnog fotografskog aparata trebalo je proći još nekoliko godina i objave nekoliko zamisli i patenata. Autor prvog „digitalnog“ fotografskog aparata bio je Kodakov inženjer Steve J. Sasson. Da bi se snimila jedna fotografija na magnetnu traku bile su potrebne 23 sekunde. Međutim niti



to nije bio digitalni već analogni zapis slike te je time bio otvoren put razvoju komercijalnih fotografskih aparata koji umjesto filma koriste senzor. Godine 1981. počinje nova era fotografije. Te je godine Sony na tržište lansirao prvi komercijalni uređaj za *still* video – MAVICA (Slika 1). Do 1990. godine, glavni proizvođači koji su prednjačili u razvoju digitalne fotografije bile su kompanije Canon, Kodak i Sony. Kasnije se pojavio i danas poznati proizvođač Olympus te mnogi drugi poznati i nepoznati, uspješni i neuspješni proizvođači. Tek od 1992. na tržištu se može pronaći velik broj amaterskih i profesionalnih uređaja zadovoljavajuće kvalitete. U vrlo brzom razvoju digitalne fotografije još jedan značajan trenutak bila je pojava prve komercijalne memorijske kartice za digitalne fotografske aparate 1994. Američka kompanija SanDisk pustila je u prodaju prve CompactFlash memorijske kartice. Razvoj i prodaja digitalnih fotografskih aparata toliko je uspješan posao da je gotovo nemoguće upamtiti sve ponuđene modele na svjetskom tržištu, no najbolja je prednost takvog tržišta stalno poboljšanje kvalitete i pad cijena uređaja koji pogoduju kupcima. Fotografija nikad nije bila toliko pristupačna kao što je danas – zahvaljujući razvoju digitalne fotografije. [1]



Slika 1. Sony MAVICA prototip, 1982.godina

Izvor: <http://dc.watch.impress.co.jp/cda/other/2007/12/10/7565.html>

### 2.1.2 Digitalna i klasična fotografija

Klasična fotografija podrazumijeva snimanje na film, a digitalna na neki fotoosjetljivi medij (svjetlosni senzor). Digitalna fotografija pohranjuje se na neki digitalni medij (najčešće na memorijsku karticu, tvrdi disk ili CD-ROM), ali može se ispisati na papir. Isto tako klasična se fotografija skeniranjem može digitalno pohraniti.

Film je jedan od izuma u fotografiji koji je omogućio jednostavno zapisivanje svjetla na medij. Film je engleska riječ koja u prijevodu znači „tanki sloj“. Filmovi su zapravo prozirne plastične (celuloidne) vrpce koje na sebi imaju tanke premaze kemikalija koje su osjetljive na svjetlo. Zato nerazvijeni film ne smijemo izlagati svjetlu jer demo ga uništiti. Film koji se nalazi u posebnoj zatvorenoj kutijici ulaže se u klasični fotografski aparat i zatim se zatvara kako se ne bi osvijetlio. Kad se pritisne okidač na aparatu, film se kratko osvjetljava i zatim se mora pomaknuti navijanjem kako bi se kod narednog okidanja aparata osvijetlio sljedeći dio filma. U jednoj kutijici najčešće ima filma za 36 ekspozicija, što znači da se jednim filmom može dobiti 36 negativa (ili pozitiva, ako je film pozitiv) i 36 fotografija. Kad se film „ispuca“ u fotografskom aparatu se premota u svoju kutijicu i s tom kutijicom ide na razvijanje u tamnu komoru. Tamna je zbog toga da se film ne osvijetli prije nego što ga se razvije. Film se razvija posebnim kemikalijama koje razvijaju i fiksiraju (učvršćuju) sliku na filmu. Dobije se negativ – film sa svjetlom i bojama suprotnim onima u prirodi.

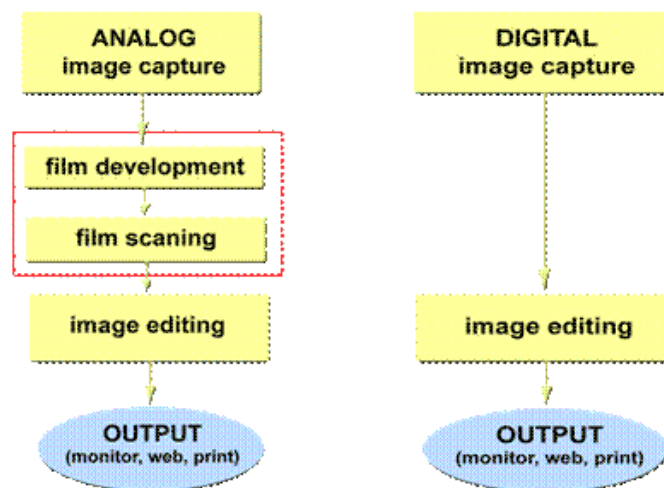
Nakon razvijanja film se preko posebnih strojeva (osvjetljivača) prenosi na foto papir na kojem napokon dobijemo fotografiju. Ovako dobivenu fotografiju zovemo klasičnom fotografijom. Ona, dakle, nastaje kemijskim putem.

Film može biti i pozitiv (tada je razvijen i fiksiran u pravim bojama) a takav se koristi za gledanje preko dijaprojektora na projekcijskom platnu. Pozitiv se još naziva dijafilm. Ako se razvijaju pozitivi, tada se ne mogu razvijati fotografije. Pozitiv se kupuje posebno (to nije ista vrsta filma kao i negativ).

U digitalnoj se fotografiji umjesto filma i kemije koristi svjetlosni senzor (čip) i električna energija. Digitalni fotografski aparati zato ne mogu raditi bez izvora električne energije (baterije). Prvi digitalni fotografski aparati bili su puno slabije kvalitete od klasičnih, ali s vremenom je digitalna fotografija dostigla klasičnu i pokazala neke svoje prednosti.

Prije svega – jeftinija je i praktičnija. Digitalnu fotografiju možemo vidjeti odmah na zaslonu fotoaparat, ne moramo kupovati filmove, pohranjivanje fotografija je jednostavno i brzo, zauzima mnogo manje prostora od pohranjivanja negativa, fotografije se mogu munjevito slati Internetom bilo kamo u svijetu, obrada fotografije je brža i jednostavnija s više mogućnosti nego kod klasične fotografije, itd.

Međutim, pravi ljubitelji fotografije (i amateri i profesionalci) osim digitalne fotografije koriste i klasičnu. Mnogi kažu da se nikad ne može naučiti fotografija, ako se nije naučilo razvijati filmove i fotografije u tamnoj komori. Treba spomenuti tonski raspon crno-bijelog filma kao jednu od njegovih velikih prednosti. [2]



Slika 2. Klasični i digitalni tok rada

Izvor:

<http://www.ziljak.hr/tiskarstvo/tiskarstvo07/Radovi%2007htm/Agic%20Strgar%20tiskarstvo%2007x.htm>

1

### 2.1.3 Digitalna fotografija

Digitalna slika je isto što i bilo koji drugi računalni podatak – dugačak niz jedinica i nula. Kada bi se digitalnu sliku vidjelo u takvom kodu, ne bi ju se moglo razlikovati od koda kakve tablice ili pisma. Međutim, ono što razlikuje podatak slike je način njegove organizacije. Čak se i dokument iz programa za obradu teksta može otvoriti kao slika.

#### 2.1.4 Prikaz teksta kao slike

Iako nije baš reprezentativna, smatra se slikom. To nas dovodi do nove dimenzije u kojoj je slika prikaz onoga u što je kamera uperena u trenutku snimanja. U dokumentima napisanim u programu za obradu teksta, svako slovo ima svoj kod. Njihova veličina i mjesto na stranici nešto su poput kataloških brojeva koje softver može interpretirati. U slučaju slika, radi se o slikovnim elementima tj. pikselima. [3]

Kada se govori o digitalnoj fotografiji važno je spomenuti razlučivost. Vezana je prije svega za fotoaparate tj. senzore. Ovisno o razlučivosti, tj. broju piksela, fotoaparati pripadaju različitim razredima. Danas smo svjedoci visokorazlučivih senzora koji mogu isporučiti razlučivost koja premašuje razlučivost objektiva. Na koji način odabrati broj megapiksela i o čemu ovisi pravilan odabir?

Razlučivost kod digitalne fotografije i grafike je ukupni broj piksela (engl. *pixel = picture element*) nekog uređaja ili medija (fotografskog aparata, monitora, ispisane fotografije...), kao i broj piksela po jedinici površine. Broj piksela po jedinici površine se izražava “pikselima po inču” ili PPI (engl. *pixels per inch*). Razlučivost senzora je ukupni broj piksela – fotodioda, koje bilježe dijelove prizora. Današnji digitalni fotografski aparati imaju visoku razlučivost (10 i više miliona piksela tj. MP – megapiksela, tako 35mm DSLR-i imaju i do 24,5 MP, a ima i profesionalnih sustava koji se penju do cca 40 8 MP).[3] Najvažnije za sve sustave, bili to kompaktni, DSLR, fotografski aparati srednjeg formata ili bilo koji drugi, je kompatibilnost s optičkim dijelom tj. objektivima. Ako je razlučivost senzora veća od razlučivosti objektiva, fotografija neće biti tehnički kvalitetnija, jer je svjetlost ta koja “piše” sliku, a objektiv je taj koji upravlja svjetlost k senzoru. Međutim, razlučivost senzora izraženih kao broj MP senzora treba vezati i uz format. Što je format senzora veći, zahtjeva i veći broj MP. [3]

Digitalni fotografski aparat ima stvarnu razlučivost (ukupni broj fotodioda) i efektivnu razlučivost (razlučivost koju ima fotografija pošto je procesor fotografskog aparata obradio podatke iz senzora). Efektivna razlučivost je kod većine digitalnih fotografskih aparata manja od stvarne razlučivosti jer se boja nekog piksela računa pomoću informacija okolnih piksela. Veći broj piksela daje digitalnoj fotografiji veći potencijal za bolju definiciju detalja tj. oštrinu. Istovremeno, rastom razlučivosti senzora raste i

potreba za većim kapacitetom memorijskih kartica i računala, kao i potreba za računalnim resursima. [3]

### 2.1.5 Pikseli

Piksel je najmanji grafički element slike, specifičan za *bitmap* slike - u suprotnosti od slika vektorske grafike. Slike, da bi se pretvorile u digitalni oblik, moraju se spremati kao niz bitova, odnosno bajtova (kao, npr. u digitalnim fotografskim aparatima), zbog čega se mora "prevesti" u više manjih dijelova od kojih je svaki određene boje. Ti dijelovi zovu se pikseli i količina istih u pojedinoj slici (između ostalog) određuje kvalitetu slike, ali direktno utječe i na veličinu datoteke na disku, a i na stvarne dimenzije (širina i visina slike).

Kompletna informacija o pikselu sadrži položaj piksela na zaslonu (koordinate po širini X i visini Y), nijansu boje i intenzitet osvjetljenosti.

U color sustavu piksel je sastavljen od podpiksela - točkica osnovnih boja (crvena, zelena i plava - R,G,B) od kojih se različitom svjetlinom (intenzitetom) pojedinih podpiksela kombinira željena nijansa boje.

Broj mogućih nijansi definiran je "dubinom boje". Standardni stupnjevi dubine boje su:

- 16 boja
- 256 boja
- 16 bitna boja (sadrži 65536 nijansi)
- 24 bitna boja (sadrži 16 milijuna nijansi)

Broj piksela od kojih je sastavljena slika definiran je razlučivošću. Proizvođač definira optimalnu i maksimalnu razlučivost zaslona, a ostale moguće standardne razlučivosti zavise od grafičke kartice. Veća razlučivost rezultira preciznijim razlaganjem detalja, većom oštrinom crtanja, većim obuhvatom objekata koji će stati u prostor zaslona i većom "izvornom veličinom" (100%) slike. Za dojam oštine bitna je veličina piksela, odnosno razmaka među dijagonalno susjednim podpikselima iste boje. Ta se vrijednost kreće oko 0,25 mm (manje je bolje). Ipak, na dojam oštine utječu i druge okolnosti.

Kod LCD zaslona optimalna je maksimalna razlučivost, tj. kod najveće razlučivosti najveća je jasnoća slike. Kod manjih razlučivosti "nominalni" pikseli se interpoliraju iz stvarnih piksela, što zamućuje sliku, tj. slika na LCD zaslonu ima najbolju oštrinu jedino na najvećoj rezoluciji.

Dok je kod računalnih zaslona piksel kvadratičan, kod televizijskih zaslona je pravokutan, tj. različitih dimenzija u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Zbog toga je pri prijenosu video sadržaja s drugih uređaja (kamera, PC) u televizor ili obratno potrebna

odgovarajuća prilagodba, koju codec (rutina za pretvorbu jednog audio/video formata u drugi) obavlja automatski. [4]

## 2.2 Standardni motivi fotografija

### 2.2.1 Portret

Portretna fotografija ili portretiranje je grana fotografije koja se odnosi na fotografiju jedne osobe ili grupe ljudi s time da je naglasak stavljen na ekspresiju lica. Portret (lat. *pro trahere*) se definira kao slika osobe koja pokazuje karakter te osobe na način na koji ju vidi fotograf. Portret je u biti studija karaktera nek ličnosti i prikaz njegove osobnosti. Stoga je cilj portreta prikazati osobnost ili raspoloženje dotične osobe. Fokus fotografskog portreta je, kao i kod portretiranja svake vrste, stavljen na lice osobe s time da u fotografiju može biti uključeno cijelo tijelo i pozadina. U pravilu, portrett nije trenutni snimak već kompozicijska slika osobe u namještenoj pozi.

1841. Richard Beard otvara prvi fotografski studio za izradu portreta, a 1851. u Londonu Antonie Claudet otvara poznati portretni studio Hram fotografije. [5]

#### Razvoj portretne fotografije

Portretna fotografija razvila se s pojavom fotografskog aparata. Upravo je portret, od samih početaka fotografije, bio najprivlačniji te ujedno i najzahtjevniji fotografski motiv. Portret je bio iznimno popularan sredinom 19. stoljeća zbog relativno niskih cijena izrada fotografija metodom dagerotipije.

Prvi portreti su bili izrađivani s dugom ekspozicijom (tri sekunde do pet minuta) zbog slabe osjetljivosti fotografskih materijala na crveni dio spektra. Tada je nastao pojam fotogeničnosti. Fotogeničnim osobama smatrale su se one osobe čija lica nisu ispadala blijedo na fotografijama. Portrete je karakterizirala slikarska estetika tog vremena. Osobe su uglavno bile smještene ispred čistih pozadina s mekom rasvjetom koja je dolazila s krovnih prozora. Svjetlo se dodatno usmjeravala pomoću ogledala gdje je to bilo potrebno. S razvojem fotografske opreme, snimati se moglo s kraćim ekspozicijama što je fotografima davalo puno više kreativne slobode. Na taj su se način počeli razvijati različiti stilovi u snimanju portreta. Također, zahvaljujući novoj tehnologiji fotografiji su se premjestili iz svojih studija u eksterijere. Prvim umjetničkim fotografom se smatra često Nadar (1820.-1910.)(Slika 3.). Odbijao je retuširanje portreta te se trudio istaknuti karakterističan izgled svakog čovjeka. Nadar je portretirao Delacroixa i Hugoa, a

proslavio se portretima francuskih intelektualaca šezdesetih i sedamdesetih godina 19. st.  
[6]



Slika 3. Nadarova prva fotografija (uvjeti u kojima je nastala)

Izvor: <https://selfportraitoftheartist.wordpress.com/tag/xix-century/page/2/>

Fotografija se dijeli po tehnici izvedbe i po efektu na crno-bijelu i na kolor fotografiju. Tim dvjema vrstama fotografije može se pridodati i stereo fotografija, bilo u crno-bijeloj tehnici ili u boji, kojom se postiže iluzija treće dimenzije. Fotografija se može dijeliti u druge dvije grupe: s umjetničkog aspekta i po načinu izvedbe. Nešto šira klasifikacija razlikuje primjenjenu, tehničku, znanstvenu i umjetničku fotografiju. Pošto se navedena područja fotografije međusobno isprepleću, portretna fotografija može imati primjenu te istodobno biti i umjetničko djelo.

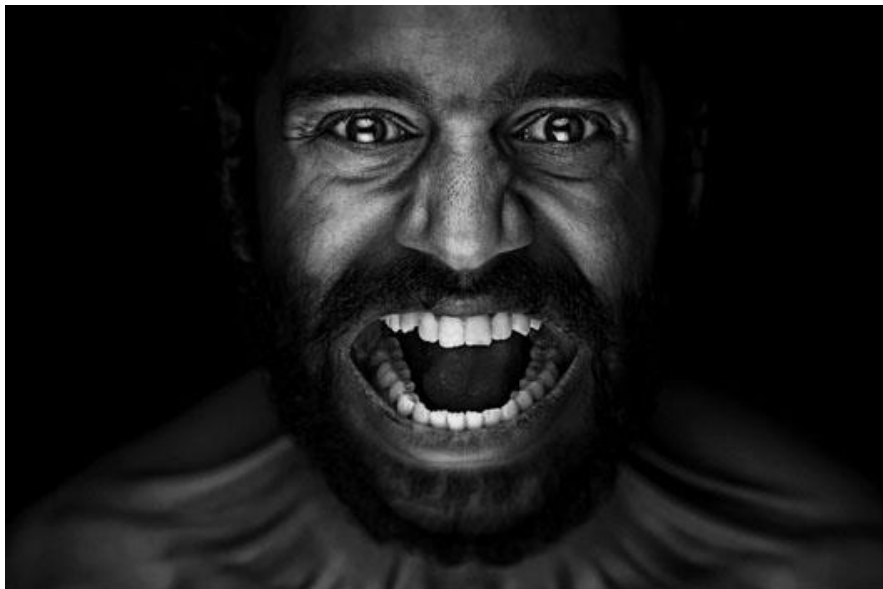
#### Fotografiranje portreta

Portret je od samih početaka fotografije zauzimao posebno mjesto. Čovjek želi imati sliku svojega lika ili drugih ljudi kao dokument ili uspomenu na prošla vremena. U počecima vlastitog fotografskog rada ljudi su uglavnom orijentirani na portretiranje bliskih osoba, a često se u svojem djelovanju vraćaju upravo na lik čovjeka. Portret osobe je širok pojam koji se može odnositi na snimku glave, tj. lica osobe, cijelu osobu s okolinom, cijelu osobu u punom formatu slike, snimku do koljena, do pojasa te doprsnu snimku. Portret ima dva osnovna zahtjeva: na slici mora biti vidljiva ličnost i karakter



dotične osobe. Efekt fotografije bit će dobar ukoliko ona izazove osjećaje, odnosno ako se iz slike osjeti karakter čovjeka. Cilj portreta nije snimak fizičkog izgleda čovjeka, već stvaranje dojma o toj osobi. Dobar portret prenosi čovjekovu bit, njegovo "ja". Pravilnom rasvjetom, kompozicijom i dobrim poziranjem modela fotograf bilježi čovjekov karakter. Zona interesa na portretu predstavlja lice, dok su oči točka interesa. Stoga je naglasak pri snimanju upravo na očima i njihovom izražaju. Postignuta sličnost može biti prosječna, svakodnevna, tipična, zrcalna itd. Ovisno o tehnici snimanja, korištenom objektivu, udaljenosti s koje je fotografija snimljena, upotrebljenoj rasvjeti, ekspresiji lica, držanju pred fotoaparatom, kontrastu slike, naknadnom retuširanju te o mnogim drugim komponentama, sličnost na fotografiji će biti veća ili manja. Ukoliko se želi predočiti karakter osobe, svaki dobar fotograf bi trebao dokučiti koji izraz lica najviše pristaje, odnosno najbolje predstavlja osobu koju snimamo. Postoje portreti na kojima nam čovjek služi samo kao model za predočavanje različitih emocija. (Slika 4.). Na takvim fotografijama nije bitna sličnost već izraz čovjekovog lica u trenucima snažnih emocija poput sreće, tuge, ushita, ljutnje. Prilikom snimanja ljudi važno je uspostaviti kontakt s tom osobom. Čovjek se često u fotografskom studiju može osjećati nelagodno, stoga neće biti opušten i na fotografiji će djelovati ukočeno. Od velike je važnosti da fotograf razbije tu napetost. Portret pokazuje stav fotografa prema fotografiranoj ličnosti što je razlog važnosti poznavanja osobe koja se portretira. Prije snimanja se može izraditi biografska skica portetirane osobe za proučavanje karaktera i načina izražavanja osobnosti (putem gesta, pogleda, pokreta). Kako bi se osoba opustila dobro je ispucati prilikom snimanja veći broj slika te razgovarati s osobom tijekom snimanja - na taj se način stvara aktivna suradnja modela s fotografom. Portretnu fotografiju uključuje i kazališna fotografija. Ona uz dokumentarni karakter, sadrži i elemente portretiranja. Ukoliko se radi o slobodnom pristupu kazališnoj fotografiji, za fotografa su bitni fotografski interesantni motivi. Pri tom se najčešće snimaju portreti u karakterističnim izrazima za izvođača, a ne za lik koji on interpretira. Tipično je snimanje izvođača prije ili poslije scenske izvedbe. Portretni pristup fotografiji omgućava i sportska fotografija. Najbolji portreti uglavnom nastaju u trenutku neposredno nakon maksimalnog napora (npr. atletičar nakon ulaska u cilj). Tijekom zadnjih desetljeća, suvremenu portretnu fotografiju karakteriziraju opušteniji i neformalniji stilovi. Povećala se opuštnost i prirodnost modela, no izgubljena je idilična, stroga struktura prikaza ljudskog lika. Brojni su razlozi za pomicanje portreta iz klasičnih

okvira. Bitan utjecaj na razvoj i promjene u snimanju portreta imala je modna fotografija koja koristi jako difuzno svjetlo i prikazuje modele u netradicionalnim pozama. Drugi razlog promjenama je prelazak s klasičnih fotografskih aparata na digitalne koji u tehnološkom smislu pružaju raznovrsne mogućnosti. Moderni DSLR fotoaparati donose novu razinu fleksibilnosti pri radu: moguće je snimiti velik broj fotografija u različitim varijantama, njima je lakše rukovati i moguće je snimiti puno spontanije fotografije ljudi nego klasičnim fotografskim aparatima. Pojavom TTL elektroničkog svjetlomjera snimanje portreta postalo je moguće na bilo kojoj lokaciji, a ne isključivo u fotografskom studiju. Moderna portretna fotografija koristi digitalnu tehnologiju koja obuhvaća fotografiranje digitalnim fotografskim aparatima te njihovu obradu u programu za obradu slika (*Adobe Photoshop*). [5]



Slika 4. Ekspresija emocije

Izvor: <http://www.dzineblog360.com/wp-content/uploads/2010/12/emotional-photography-38-.jpg>

Naravno, prilikom snimanja portreta nužno je pratiti i poštivati određena pravila tradicionalne fotografije. Pronalaskom vlastitog stila svaki fotograf ta pravila mijenja i povezuje s vlastitim načinima rada. Portret se promijenio, no cilj portreta ostaje isti – otkriti karakter osobe ispred fotografskog aparata.

### 2.2.2 Pejzaž i vrste pejzažne fotografije

#### 1. Intimni pejzaž

Intimni pejzaž mogao bi se smjestiti točno između pejzažne fotografije i makrofotografije. Pri snimanju intimne fotografije ne teži se velikim, dramatičnim scenama horizonta, već za jednostavnijim i manjim scenama prirode, fokus je više na detaljima pejzaža nego na horizontu. Stoga postoji nekoliko pravila kojih bi se trebalo pridržavati pri snimanju intimne fotografije, prvo što valja spomenuti je objektiv. Širokokutni objektiv nije poželjan za ovu vrstu fotografije, zato što on odaje dojam dramatičnosti, što se zapravo želi izbjeći ovom vrstom fotografije. Najčešće se koriste objektivni veći od 50mm, oni daju fokus na jednu točku umjesto na dvije, a slike ispadaju oštrije. Nadalje, važno je izbjegavati što više možemo horizont, odnosno nebo. Bitno je da fokus bude na detaljima, a nebo dosta često odvraća pažnju. Zbog toga se često fotografi pri snimanju pejzažne fotografije znaju zagubiti u nekom grmu ili šumici snimajući sitne detalje koji su bliže zemlji nego nebu (Slika 5.). Osim toga, izbjegavajući nebo gube se realne proporcije nekog motiva na primjer drveta, čime se dobiva jedan vid apstrakcije što čini fotografiju zanimljivom. Svjetlost pri kojoj snimamo trebala bi biti blaga, bolje je snimati pri oblačnom vremenu jer je svjetlost difuzna, što znači da nema oštih prijelaza između svjetlosti i sjena. U ovoj vrsti fotografije zaista se mora paziti na detalje, stoga se moraju izbjegavati nepotrebne distrakcije koje narušavaju kompoziciju. Veoma je važno paziti na kuteve fotografije, ako su kutevi čisti bez nepotrebnih detalja koji odvlače pažnju, dobit će se mirnoća na cijeloj fotografiji, a upravo je ona cilj intimne fotografije. [9]



Slika 5. Primjer intimnog pejzaža bez neba

Izvor: <http://cdn.slike.hr/wp-content/uploads/sites/10/store/suma-slika.jpg>

## 2. Makrofotografija

Mnogima se dogodilo da su šetali prirodom i pokušavali pronaći dobar motiv za snimanje uspješne pejzažne fotografije, kad im je odjednom pažnju odvratio mali žuti cvijet kojeg su morali zabilježiti svojim aparatom. Odjednom se fotograf nalazi u nekom grmu ili na livadi zadivljen malim biljkama i životinjama među kojima bi mogao provesti sate i sate fotografirajući ih sa svega nekoliko centimetara udaljenosti, što se jasno vidi na slici 6. Takav način fotografiranja zove se makrofotografija. Makrofotografija otkriva sasvim novi svijet u kojemu se uočavaju nezamjetni detalji kao što su uzorci, teksture, linije i boje na jedan kompleksniji način. Iako se makro fotografija čini vrlo jednostavnom, zato što se snima najčešće jedan objekt, sitni detalji na objektu čine ovu vrstu fotografije dinamičnom i zanimljivom. Teoretski u makrofotografiju spada snimanje objekata sa vrlo male udaljenosti, odnosno snimanje objekata u približno prirodnoj veličini. Snimanje se vrši u omjerima 1:2 do 10:1. To znači da snimani objekt zauzima istu količinu prostora u prirodi i na senzoru. Znači ako snimamo objekt promjera 5 cm u prirodi, objekt će biti iste takve veličine na senzoru. Osnovna oprema koja se koristi u ovoj vrsti fotografije je makroobjektiv koji omogućava dodatno približavanje fotografskog aparata objektu snimanja. Takvi su objektivni optički izbalansirani tako da daju oštru sliku na malenim udaljenostima, a na većim udaljenostima od objekta snimanja daju zamućeniju sliku.

Makroobjektiv se može nadopuniti ili zamijeniti dodatnom opremom. Bitna stavka kod snimanja makrofotografije je ta da ono što želimo snimiti mora biti izoštreno na snimci, a pozadina mora biti zamućena. Zbog malih dubinskih oštrina preporuča se korištenje stativa, što omogućuje fotografiranje manjim otvorom objektiva te dužom ekspozicijom. Predleća je povećalo u obliku filtra koja se postavlja ispred objektiva, a služi za dodatno povećanje objekta. Na prstenu je naznačena dioptrijska (D), što je veća dioptrijska, to je veće povećanje. Predleće je važno kombinirati sa kvalitetnim objektivom, najbolje ga je kombinirati sa osnovnim objektivom (50 mm). Mogu se kombinirati više predleća, isto tako mogu se kombinirati filteri i predleće, prvo se stavlja predleće, a zatim filter. Koriste se otvori objektiva između 5,6 i 22. Druga je mogućnost približavanja objekta pomoću ubacivanja međuprstenova ili mijeha. Što je razmak između objektiva i tijela veći, veće je i povećanje. Set međuprstenova sadrži tri ili četiri međuprstena koji se međusobno mogu kombinirati, mijeh ima promjenjivu dužinu, a time i različita povećanja. Ako se ne snima za vrijeme zlatnog sata svjetlost će biti prilično jaka, tada treba paziti da se objekt postavi u sjenu. Izravna sunčeva svjetlost prejaka je da bi se dobile kvalitetne makro fotografije jer se tada dobije efekt spaljenog objekta, odnosno izgube se volumen i boje na objektu. Još jedna stvar veoma bitna kod makrofotografije je pozadina, bitno je da ona bude komplementarna samome objektu. Znači trebaju biti boje koja će isticati i naglašavati objekt, naprimjer svjetliji objekt treba biti na tamnijoj pozadini ili obrnuto.

[5,10]



Slika 6. Primjer makrofotografije

Izvor: <http://cdn.slike.hr/wp-content/uploads/sites/10/store/suma-slika.jpg>

### 3. *Cityscape* ili gradske vedute

*Cityscape* fotografije ili gradske vedute spadaju u jednu od vrsta pejzažne fotografije, ali za razliku od pejzažne gdje su motivi uglavnom elementi iz prirode, kod *cityscape* fotografije motivi su vezani uz urbane elemente poput arhitekture, starih znamenitosti, tvornica, cesta, ulica, puteva, svjetlosnih znakova te mnogih drugih. Iako se čini da je *cityscape* fotografija predvidiva i jednostavna mnogo toga ju može učiniti zanimljivom. Naprimjer refleksija može biti jako zanimljiv motiv, odrazi u izlozima ili prozorima mogu stvoriti dinamičnu kompoziciju. Osnovno pravilo kod snimanja ove vrste fotografije su planovi. Ako snimanje uključuje ljude, tada oni moraju biti u prvom planu, a građevine u drugome. Iako teroretski u pejzažnoj fotografiji bi se trebalo što više izbjegavati snimanje ljudi. Detalji sa pročelja zgrada mogu biti zanimljivi motivi što se jasno vidi na slici 7.



Slika 7. Pročelje hotela u Singapuru

Izvor: [http://www.fnetravel.com/english/singaporehotels/gallery-hotel\\_8.html](http://www.fnetravel.com/english/singaporehotels/gallery-hotel_8.html)

Ako se žele izdvojiti detalji od pozadine, trebaju se koristiti veliki otvori objektiva (od 2.8), zajedno sa teleobjektivom. Što se tiče svjetlosti, povoljno je snimati za vrijeme zlatnog sata. U zoru je svjetlost zlaćane boje, isto tako ulice nisu prenapučene što pruža slobodu kretanja. Predvečer je svjetlost jako niska pa su sjene veoma duge i izražajne, ne mogu se izbjeći pa je najbolje uklopiti ih u neku kompoziciju. Nisko sunce između zgrada čini veoma efektnu kompoziciju. Za vrijeme snimanja pri dnevnom svjetlu, važno je da Sunce bude iza leđa fotografu, da se iskoristi što veća količina svjetlosti koja obasjava grad i ističe plavo nebo. Stativ je važan dio opreme zbog toga što će omogućiti da horizont bude ravan, što je iznimno važno kod snimanja arhitekture. Isto tako, treba koristiti daljinski upravljač ili brojač vremena na fotografskom aparatu zato što se tako izbjegavaju vibracije koje čine fotografije mutnima, to je iznimno bitno koristiti pri zalasku sunca jer se svjetlost gubi, a oštrina se smanjuje. [8]

Veoma zanimljiv način snimanja *cityscape* fotografija je snimanje noću. Najbolje vrijeme za snimanje noćne fotografije je jedan sat nakon zalaska Sunca te jedan sat prije izlaska Sunca. Pri takvim uvjetima najbolje je koristiti stativ, otvor objektiv je manji, kreće se od f8 pa na više jer se želi dobiti velika oštrina na fotografijama. Zanimljivi motivi za snimanje noću su svjetlosni znakovi, mostovi, znamenitosti noću. Ako se pak želi prikazati pokret, najlakše će se prikazati kroz dugu ekspoziciju. Linije svjetlosti

nastale od automobila ili duge figure ljudi, snimit će se lakše ako se koristi stativ, zato što on omogućuje da svjetlost bude pravilna, odnosno ravna, a da pozadina bude izoštrana. Dubinska oštrina približna je otvoru objektiva 11 do 32, osjetljivost treba biti postavljen na 100/21 iso kako bi se izbjegao šum na fotografiji. Ekspozicija treba biti duga, na primjer za efekt pruge od svjetla automobila dovoljna je ekspozicija od 6 sekundi.

#### 4. Panoramska fotografija

Snimanjem panorame uglavnom se prikazuje neki motiv ili prostor koji ne može stati u kadar zbog svoje veličine, poput planine ili građevine, rijeke, ceste i sl. Karakteristični omjer širine i visine je 2:1, ali ipak se najčešće koristi omjer 4:1, pa čak i 10:1, dobije se fotografija kojoj je širina višestruko veća od dužine. Panoramska fotografija zapravo imitira svojom širinom vidni kut čovjeka koji je oko 45-46 stupnjeva. Snimanjem panorame dobiva se jedan vid interaktivnosti jer se promatraču čini kao da je na samoj lokaciji snimanja. Panorama nastaje snimanjem pomoću ekstremno širokokutnog objektiva koji ima žarišnu duljinu 20 (94 stupnja) ili 24 (83 stupnja). Kod ove vrste objektiva treba paziti na mjerenje svjetla, ako su pojedini dijelovi različito osvijetljeni tada treba segmentalno mjeriti svjetlo. Prisutan je još jedan problem kod ove vrste objektiva, a to je „rušenje slike“ kada fotografski aparat nije paralelan s objektom snimanja. Ipak, ponekad je korisna ova vrsta deformacije slike, zato što se tako naglašava visina i monumentalnost motiva. Nadalje, postoji još jedan način kako se snima panormaska fotografija bez upotrebe ekstremno širokokutnog objektiva, a to je snimanje više fotografija te naknadno spajanje snimljenih fotografija u cjelinu. Panoramska fotografija može biti snimana horizontalno čime se dobiva dojam širine prostora (trgovi, prostori, krajolik) (Slika 8.) i vertikalno čime se dočarava visina objekta (npr. slap). Od opreme, ako se ne snima ekstremno širokokutnim objektivom, mogu se koristiti standardni objektiv, širokokutni objektiv i teleobjektiv. Od dodatne opreme koristi se stativ jer je veoma važan dio opreme, bez njega se ne mogu snimiti kvalitetne fotografije koje se kasnije spajaju tehnikom preklapanja. Panoramska glava je specijalni dio profesionalne opreme koji služi za dobivanje panoramskih fotografija izuzetne kvalitete i rezolucije. Naravno panorama se može snimiti i bez stativa, znači iz ruke tako da se fotograf rotira oko jedne centralne točke, ali kod takvih panorama lako će se uočiti pogreške jer točke preklapanja često nisu usklađene. [5,7]





Slika 8. Horizontalno snimljena panorama

Izvor: <http://www.imagazin.si/spremenjen-patent-za-panoramske-fotografije/>

### 2.2.3 Mrtva priroda

Sami počeci fotografije vezani su uz fotografiju mrtve prirode. Takvi motivi, nepomični, odgovarali su niskoosjetljivim fotomaterijalima koji su omogućavali dugo vrijeme eksponiranja. Prve fotografije mrtve prirode nastale 1837. godine (*Daguerre* - tehnika dagerotipije). Mrtva priroda je vrlo čest motiv u vrijeme fotografskog piktoralizma, ali se nakon toga orjentirala na na druge motive, pa se danas fotografije mrtve prirode, u izvornom smislu, može jako teško pronaći.

Danas je pristup fotografiranju mrtve prirode aktualan u području fotografiranja hrane (slika 9.), ali i u području propagandne fotografije. Takve fotografije omogućavaju rad sa svjetlom, te potpunu kontrolu nad elementima ekspozicije, kao i dodavanje ili oduzimanje elemenata kompozicije.



Slika 9. Kompozicija hrane

Izvor: <http://plavakamenica.hr/2016/05/01/ovo-su-najbolje-fotografije-hrane-na-svijetu-2016-medu-njima-su-one-maje-danice-pecanic/>

Iako se motivi mrtve prirode mogu pronaći kao postojeći, u pravilu se kompoziciji mrtve prirode prilazi slažući je. Kod slaganja kompozicije se kreće od jednog- glavnog predmeta uz koji se slažu ostali - stvarno ili idejno vezani s tim glavnim predmetom. Za vrijeme slaganja kompozicije, sliku je najbolje promatrati kroz tražilo fotografskog aparata. U pravilu, kompoziciju je lakše složiti s neparnim brojem predmeta. Složena kompozicija najčešće stvara određeni ugođaj, ali se izdvajanjem glavnog objekta od ostalih fotografijom mrtve prirode može prenjeti i neka poruka. [5]

Naglašavanje objekta postiže se na različite načine : kontrastom, veličinom, oblikom, smještajem, bojom ili oštrinom glavnog objekta u odnosu na ostale. [5]

Kod fotografiranja mrtve prirode preporuča se koristiti neutralne pozadine, a za rasvjetu je najbolje koristiti žarulje manje snage. Treba paziti i na logičnost sjena, pa se zbog toga obično koristi samo jedan izvor svjetla. ili ostali izvori služe kao pomoćni.

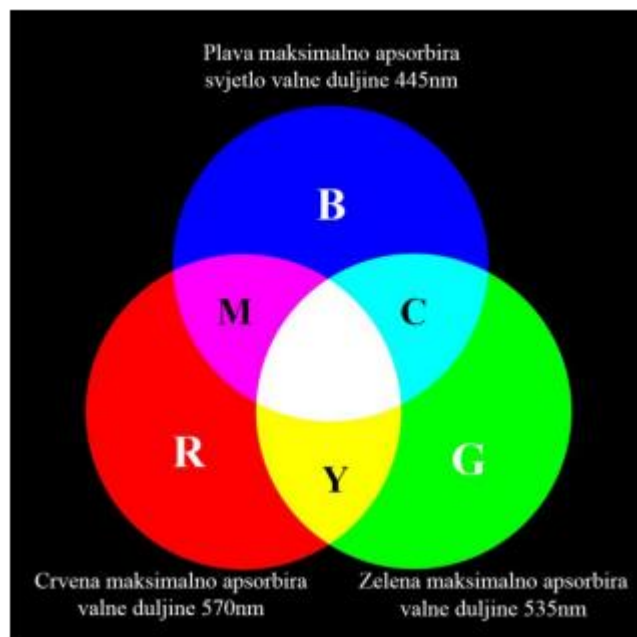
Za snimanje mrtve prirode najčešće se koriste 50 mm objektiv i filmovi male ili srednje osjetljivosti, a za postizanje ugodaja često i oprema za pastel efekt. Zbog duljeg vremena eksponiranja najčešće se snima uz upotrebu stativa. Za povećanje se najviše koristi fotografski papir mat površine. [5]

## 2.3 Prostor boja

Prostor boja je sistem koji omogućava numeričko opisivanje karakteristika boja. Različiti uređaji koriste različite prostore boja bazirane na aditivnom ili suptraktivnom mješanju. Neki prostori boja su ovisni o uređaju (RGB i CMYK), dok su drugi neovisni o uređaju (CIEXYZ i CIELAB) i konstruirani tako da odgovaraju načinu na koji ljudsko oko vidi boju.

### 2.3.1 Aditivna sinteza

S osnovnim znanjima o principu rada ljudskog vizualnog sustava, od građe oka do percipiranja svjetlosnih informacija otvorena su vrata daljnjem istraživanju o prirodi boje. Imajući na umu tropodražajnu teoriju, Gnaz Schiffermüller i Munsch uveli su termin aditivna sinteza. Temelji se na pretpostavci da gotovo sve boje vidljive ljudskom oku nastaju mješanjem tri osnovne boje – zelene, plave i crvene (Slika 10.). Eksperiment se sastojao od diska koji sadrži filtre triju osnovnih boja, i taj disk je pričvršćen na štap. Kada se disk zavrti boje se vizualno miješaju.[12] Nizom drugih eksperimenata Maxwell (1855) je utvrdio raniju pretpostavku – aditivnom sintezom nastaju sve ostale boje, zbrajanjem odnosno dodavanjem snopova crvene, zelene i plave svjetlosti. Na principu aditivne sinteze temelji se rad televizora, monitora, fotografskih aparata. Kada snop elektrona prolazi preko fosforne ploče, proizvodi se plavo, cveno ili zeleno svjetlo, i slika koja nastaje uvećava se sustavom leća. Postoji nekoliko vrsta aditivne sinteze i njihova upotreba prilagođava se uređaju. Bilo koji princip aditivne sinteze zahtijeva upotrebu jednog od filtera, što automatski smanjuje dotok količine svjetlosti (ako uspoređujemo istu fotografiju u crno bijeloj i kolor varijanti), tako da će slika nužno biti tamnija ili manja veličinom ukoliko želimo zadržati intenzitet. Također, zbog filtera, nikad se ne može reproducirati čisto bijela boja. [13]

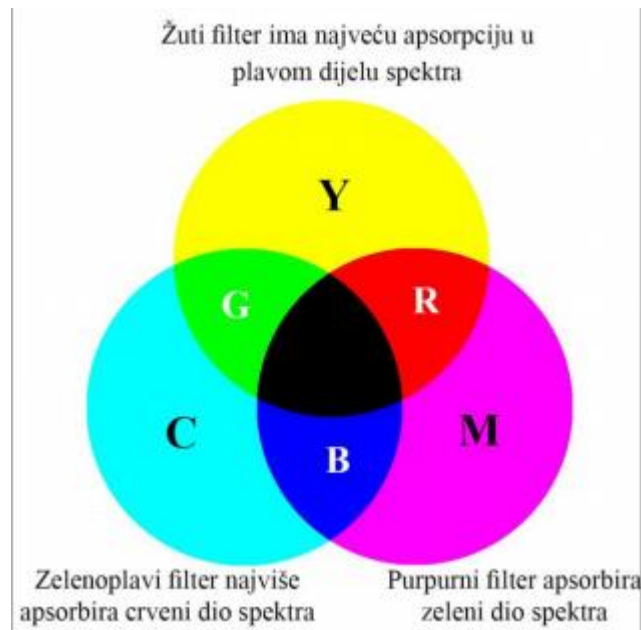


Slika 10. Princip aditivne sinteze

Izvor: [http://www.mediainstitute.edu/media-schools-blog/wp-content/uploads/2013/09/additive\\_primaries.jpg](http://www.mediainstitute.edu/media-schools-blog/wp-content/uploads/2013/09/additive_primaries.jpg)

## 2.4 Suptraktivna sinteza

Ovu metodu prvi je opisao Hauron 1862. Za razliku od aditivne, suptraktivna sinteza temelji se na apsorpciji odnosno oduzimanju pojedinih valnih duljina od bijele svjetlosti. Na ovom principu rade izlazni uređaji – tiskarski strojevi – i boje koje se koriste kod suptraktivne sinteze su CMY (*cyan, magenta, yellow*) i njihovim mješanjem dobija se tamno smeđa boja, koja se modificira dodavanjem crnog pigmenta K (*key*) koja služi za kontrast (Slika 11.). Selektivno uklanjanje valnih duljina vrši se pomoću filtera. Zelenoplavim filtrom oduzimamo crveni, purpurnim oduzimamo zeleni, a žutim plavi dio spektra. Ako koristimo filter koji apsorbira zeleni dio vidljivog spektra, od bijelog svjetla ostaje plavi i crveni dio spektra što će promatrač interpretirati kao purpurnu boju. [14]



Slika 11. Princip suptraktivne sinteze

Izvor: [http://www.mediainstitute.edu/media-schools-blog/wpcontent/uploads/2013/10/subtractive\\_primaries.jpg](http://www.mediainstitute.edu/media-schools-blog/wpcontent/uploads/2013/10/subtractive_primaries.jpg)

### 2.4.1 CIEXYZ prostor boja

CIEXYZ prostor boja baziran je na percepciji boje standardnog promatrača te je kao takav osnova za ostale CIE prostore boja. CIEXYZ prostor definiraju tri pozitivne hipotetske

tristimulusne vrijednosti XYZ pomoću kojih se mogu prikazati sve boje vidljive ljudskim okom.

Y vrijednost definirana je tako da odgovara svjetlini boje. X i Z vrijednosti daju informaciju o boji ali ne odgovaraju njenom psihovizualnom osjetu (ton i zasićenje).

Jednake vrijednosti ( $X = Y = Z$ ) predstavljaju bijelu boju.

Boja se definira izrazom:  $C = x(\lambda)X + y(\lambda)Y + z(\lambda)Z$

CIERGB prostor boja transformira u CIEXYZ prostor pomoću matrice [11]

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.768 & 892 & 1.751 & 748 & 1.130 & 160 \\ 1.000 & 000 & 4.590 & 700 & 0.060 & 100 \\ 0 & & 0.056 & 508 & 5.594 & 292 \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (I)$$

CIE 1931 dijagram kromatičnosti

Kako bi se vizualno prezentirao raspon boja koje može vidjeti prosječni čovjek CIE je definirala dvodimenzionalni prostor u kojem su ucrtane sve boje vidljive ljudskim okom. Boje stimulusa (podražaja) definirane su kromatskim koordinatama x i y koje se računaju iz XYZ tristimulusnih vrijednosti:

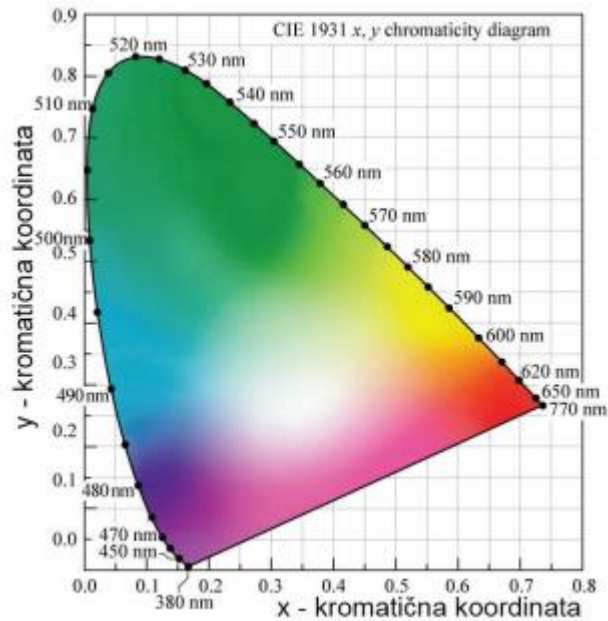
$$x = X / X + Y + Z$$

$$y = Y / X + Y + Z$$

$$z = Z / X + Y + Z$$

x, y i z su normalizirane vrijednosti ( $x + y + z = 1$ ) pa su za definiranje boje dovoljne dvije vrijednosti. Kromatske koordinate predstavljaju trodimenzionalni fenomen osjeta boje sa dvije varijable pa se za potpuno specifikiranje boje treba navesti i jedna od tristimulusnih vrijednosti. To je obično vrijednost Y koja odgovara svjetlini. Prostor definiran vrijednostima x, y i Y naziva se CIExyY prostor boja.

Ucrtavanjem x i y koordinata u pravokutni koordinatni sustav dobije se dijagram oblika potkove:



Slika 12. CIE xy dijagram kromatičnosti

Izvor: <http://tinyurl.com/qcbg4by>

Zaobljeni dio potkove, spektralna krivulja (*spectral locus*), definiran je kromatskim koordinatama spektralnih boja. Na slici su prikazane odgovarajuće valne duljine duž zaobljenog dijela potkove. Donja linija potkove naziva se purpurna granica (linija). Purpurna boja nije boja spektra, dobiva se miješanjem crvenog i plavog svjetla. Unutar potkove smještene su sve boje vidljive ljudskim okom.

Eksperimentalno je utvrđeno da je ljudsko oko puno osjetljivije na promjenu u intenzitetu nego u tonu. Zbog toga CIE dijagram kromatičnosti ima i svoje nedostatke:

1. Konstruiran je za mjerenje boje izvora svjetla, više nego za boju objekta
2. Jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama
3. Položaj boje izražen kromatičnim koordinatama ovisi o izvoru rasvjetle
4. Sustav ignorira okolne boje i boju pozadine
5. Ne uzima u obzir fluorescenciju objekta [15]

CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i nazvala ih *illuminants* (vrsta svjetlosti ili rasvjetle). Illuminanti su izvori svjetlosti za koje



se zna temperatura boje svjetla te spektralna raspodijela zračenja i nalaze se u bazi podataka za spektrofotometar. Neki od standardiziranih izvora su:

1. A – volframova žarulja
2. B – sunčeva rasvjeta (podnevna)
3. C – prosječna dnevna rasvjeta
4. D65 – prosječna dnevna rasvjeta u ultra – ljubičastom i vidljivom dijelu spektra.[15]

#### 2.4.2 CIE L\*a\*b\* prostor boja

CIE je definirala novi uniformni trodimenzionalni prostor baziran na CIEXYZ prostoru boja, Munsellovom sustavu boja te teoriji suprotnih parova boja. Munsell boje definira sa tri vrijednosti: ton, kromatičnost i svjetlina. U CIELAB prostoru boje su definirane sa tri osi: dvije kromatske osi a\* i b\* te akromatskom osi L\* (luminance) koja označava svjetlinu- L\* = 0 je crno, L\* = 100 je bijelo. a\* kromatska os ima orijentaciju crveno - zeleno. Pozitivna a os usmjerena je u smjeru crvenog stimulusa, a negativna a os usmjerena je u smjeru zelenog stimulusa. b\* kromatska os ima orijentaciju žuto - plavo. Pozitivna b\* os usmjerena je u smjeru žutog stimulusa a negativna b\* os usmjerena je u smjeru plavog stimulusa. Ti parovi boja, zeleno - crveno i plavo - žuto odgovaraju parovima boja u teoriji suprotih procesa (opponent color theory) koja opisuje kako ljudsko oko vidi boje. Centar kromatskih osi je akromatičan, pomicanjem od centra raste kromatičnost boja u CIELAB prostoru.

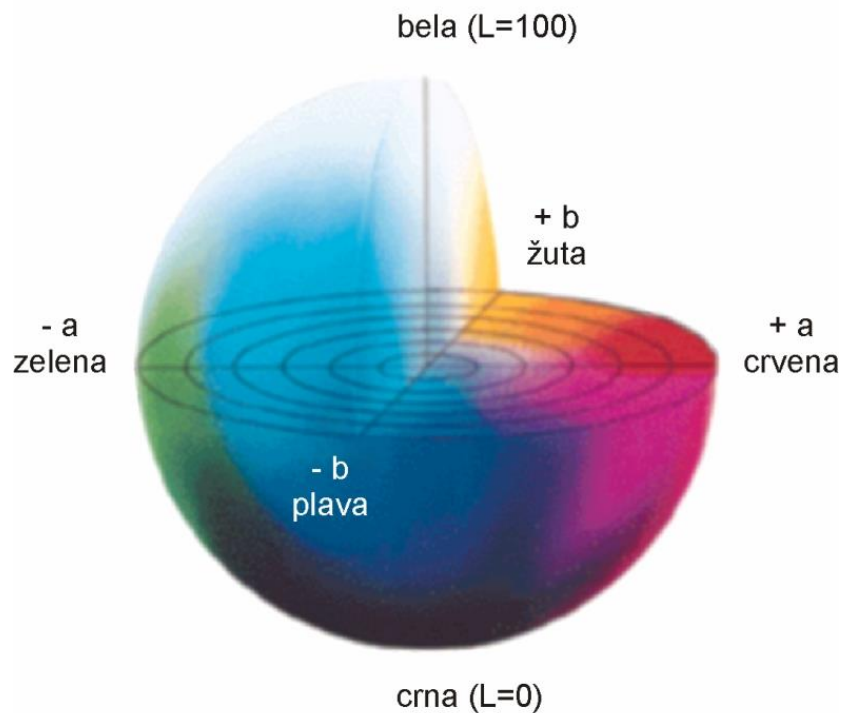
Formula 
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (II)$$



Slika 13. CIELAB solid

Izvor: Kipphan H., (2001). Handbook of Print Media, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

CIE Lab je prostor boja neovisan o uređaju, baziran na percepciji standardnog promatrača. Budući da je to prostor boja koji ne ovisi o uređaju koristi se u sustavu za upravljanje bojama . To je trodimenzionalni prostor koji je opisan sa tri karakteristike – L (lightness) predstavlja crnu ako je  $L=1$ , ili bijelu ako je  $L=100$ . Komponente a i b predstavljaju komplementarne boje na suprotnim krajevima osi; pa je na osi  $a^*$  zelena boja obilježena sa  $-a$ , a na suprotnoj strani crvena boja obilježena sa  $+a$ . Na osi  $b^*$ , nalaze se komplementi plavo – žuto. [10] (Slika 13.)



Slika 14. CIE LAB prostor boja

Izvor: <http://tehnologijahrane.com/wp-content/uploads/2009/05/cielab-obojeni-prostor.jpg>

### 2.4.3 RGB prostori boja

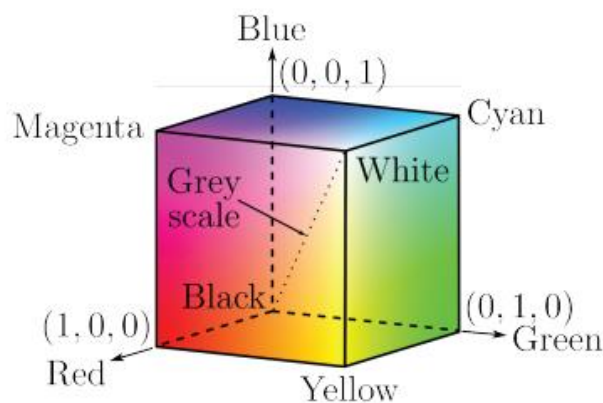
RGB prostor boja je prostor koji za prikaz boja koriste monitori, digitalne i video kamere, skeneri, televizijski uređaji. RGB prostor boja temelji se na aditivnom RGB modelu. Definiran je sa tri primarne boje aditivne sinteze - crvenom, plavom i zelenom te tzv. bijelom točkom (set kromatskih koordinata koji definiraju bijelu boju). Raspon boja (gamut) je podskup boja unutar određenog prostora boja. Danas je najraširenija upotreba RGB prostora boja koji se temelji na 24 bitnom modelu (8 bita po svakom od tri kanala) koji ima raspon od 16.7 milijuna boja.

Baziran je na aditivnom mješanju i najčešće upotrebljavan u računalnoj industriji kod monitora te fotografskih aparata. R, G, B vrijednosti prikazane su pomoću vektora koji tvore trodimenzionalni ortogonalni prostor (kocku). [16] Svaki od kanala odnosno vektora ima vrijednosti od 0 – 1 (odnosno 0 – 255 ako uzmemo u obzir standardnih 8 bita po kanalu kod 24 – bitne slike) gdje crna ima koordinate (0,0,0) što znači odsustvo sve tri primarne boje; a bijela koordinate (1,1,1) – sadrži maksimalne vrijednosti primarnih boja.

[16] Kolor fotografija se dakle opisuje kao vektor sa tri komponente mjerene intenzitetom svjetla. Naprimjer, ako imamo fotografiju  $C$  koju možemo razdvojiti na 3 kanala RGB – crveni, zeleni i plavi (prikazane vektorima), svaki kanal se može opisati pikselima koji imaju koordinate  $x, y$ .

$$C(x, y) = (R(x, y), G(x, y), B(x, y)) \quad T = (R, G, B) \quad T \text{ (III)}$$

Ove vrijednosti nazivaju se tristimulusnim vrijednostima. Sve vrijednosti opisane RGB vektorima odgovaraju jednoj boji unutar RGB prostora boje i svaki od tih vektora je zavisan o uređaju i stoga imamo različite RGB prostore boja kao što su: sRGB, AdobeRGB, ProPhotoRGB... neki od njih imaju šire, a neke uže gamute. [13] Ako sliku definiramo u AdobeRGB koji je šireg gamuta, prebacivanjem u sRGB prostor boja koji ima uži gamut može doći do gubitka informacije ili promjene karakteristika boje. U takvim slučajevima – konverzije boje kod prostora boje koji su ovisni o uređaju – treba se koristiti color management.



Slika 15. RGB kocka

Izvor: <https://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals-media/figs/rgb-colourcube.png>

RGB prostor boja nije intuitivan ljudskom oku. Primjerice, ako se krene od bijele boje i doda joj se plavu komponentu koordinate sljedeće boje odgovarat će žutoj. Zato se češće koriste takozvani perceptualni prostori boja koji imaju drugačiji oblik (stožasti) gdje su prijelazi iz jedne boje u drugu intuitivno jasniji ljudskoj percepciji boja. [16]

#### 2.4.4 CMY(K) prostor boja

Bazira se na suptraktivnoj metodi mješanja boja komplementarnih crvenoj, zelenoj i plavoj, a to su zelenoplava (*cyan*), purpurna (*magenta*) i žuta (*yellow*). Koristi se prvenstveno u tiskarskoj industriji. K (*Key*) dodaje se između ostalog radi pojačavanja kontrasta, ali i puno bitnije, zbog vremenski kraćeg perioda sušenja boje. Naime, u grafičkoj industriji, da bi dobili višebojnu reprodukciju (npr. fotografiju) potrebno je rasterirati fotografiju i razdvojiti je na kanale C, M, Y, K. Svaki od tih kanala nalaziti će se na jednoj tiskovnoj formi, i svaka tiskovna forma u jednom tiskovnom agregatu. Kada papir prolazi kroz tiskarski stroj, u svakom pojedinom agregatu tiska se jedna boja, što će naposljetku rezultirati fotografijom u boji onakvom kakva je prethodno, primjerice, bila na monitoru. Kada bi se koristile samo CMY boje, bez *Key* boje, debljina nanosa bi trebala biti puno veća, te tako i sušenje vremenski duže. Postoje formule kojima možemo pretvarati RGB u CMYK i obratno.

Jedan od nedostataka kod suptraktivne sinteze je taj što cijan, magenta i žuta znatno apsorbiraju svjetlo na onim mjestima na kojima bi trebale imati sto postotno propuštanje. To rezultira tako da su boje tamnije i zbog toga su potrebne korekcije. [17]

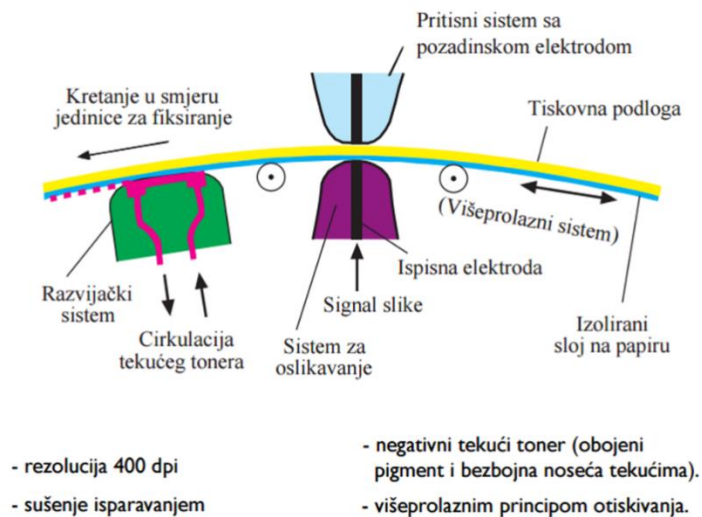
## 2.5 Tehnike ispisa digitalne fotografije

Pojava digitalne fotografije promijenila je način na koji gledamo fotografiju kao i način reprodukcije iste. Za razliku od klasične fotografije čiji je medij zapisa film, svaka fotografija nastala digitalnim fotografskim aparatom automatski je pohranjena na memoriju fotografskog aparata i manipulacija za danje potrebe je bitno olakšana. Doduše, danas se primjena digitalne fotografije u velikom broju slučajeva svodi na reprodukciju unutar ostalih digitalnih medija, često potpuno izbjegavajući ispisane fotografije. Svejedno, potreba za ispisom digitalne fotografije nije eliminirana novim medijima i zbog toga se tehnike ispisa usavršavaju kako bi konačan rezultat, odnosno ispisana digitalna fotografija zadovoljavala standarde vjernosti u usporedbi s originalom. Odabir tehnike ispisa digitalne fotografije ovisiti će o potrebama korisnika, a u njih ulazi visina kvalitete i vjernosti ispisa, dimenzije, boja i naknadna primjena. [18, 19]

Ovisno o potrebama ispisa digitalne fotografije, odabir će se svoditi na jednu od sljedećih tehnika ispisa:

## 2.6 Laserski pisači - elektrofotografija

Laserski pisači su često korišteni u svakodnevnom životu, pogotovo u situacijama kada je primarna potreba ispisa tekstualna informacija. Tehnika tiska koji koriste laserski pisači naziva se elektrofotografija. Ovakvi pisači koriste se kada kvaliteta slikovne informacije nije imperativ, a naglasak je na brzini ispisa. Često se ovdje radi o ispisu postera ili oglasa niže komercijalne vrijednosti i kratkog upotrebnog roka (npr. oglasi nestalih životinja). Ovakvi pisači mogu ispisivati crno-bijelo ili u boji, ovisno o tipu pisača koji je odabran. U oba slučaja, boje se ovom tehnikom ispisa prenose na električno nabijeni bubanj te se s njega prenose na tiskovnu podlogu i trajno se termički fuziraju na nju.



Slika 16. Princip višebojne elektrografije

Izvor: [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Predavanje%209b%20DiT.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Predavanje%209b%20DiT.pdf)

Princip rada elektrofotografije odvija se u šest faza:

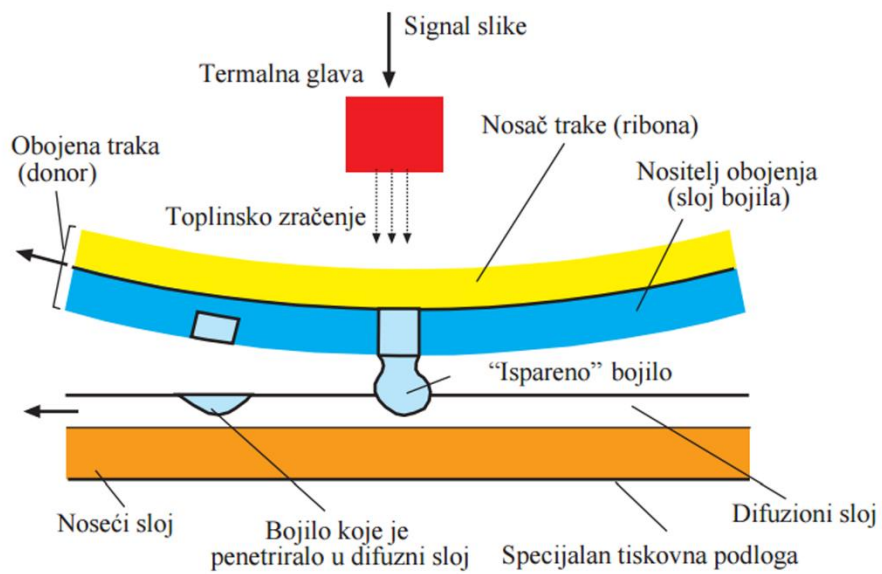
1. Stvaranje naboja na koroni – bubanj pisača nabija se kako bi bio elektropozitivniji
2. Oslikavanje svjetlom iz laserske LED diode – u ovoj fazi nastaje latentni elektrostatički tiskovni elementi na bubnju pisača
3. Obojavanje – vrši se razvijačkom jedinicom koja sadrži praškasti, elektronegativniji toner koji se na bubanj prihvaća zahvaljujući elektrostatskim silama
4. Prijenos tonera na tiskovnu podlogu - događa se direktno ili indirektno
5. Fiksiranje – toner se na tiskovnu podlogu fiksira temperaturom ili pritiskom

Laserski printeri češće se koriste za ispis linija i teksta, dok se njihova primjena u ispisu rastera izbjegava zbog slabe kvalitete reprodukcije. [20]



## 2.7 Sublimacijski pisači

Sublimacijski pisači koriste termalni proces kako bi došlo do prijenosa bojila na tiskovnu podlogu. Tehnika tiska sublimacijskih pisača je termografija i ona spada u NIP (*Non – impact printing*) tehnike digitalnog tiska. Tiskovni elementi nastaju posredstvom grijača koji se selektivno zagrijava. Postoji direktna termografija i prijenosna termografija. Kod direktne termografije toplina sa termalne glave distribuira se direktno na specijalno premazanu tiskovnu podlogu. Prijenosna termografija funkcioniра na dva načina – termalnim transferom i termalnom sublimacijom. Dok se princip termalnog transfera koristi za tisak jedne boje i većih naklada, termalna sublimacija koristi se za ispis fotografija. Zbog ovakvog principa koji koristi toplinu (Slika 17.), bojilo može varirati u rangu od 0 do 255 i na taj način je omogućena jednaka količina ispisa različitih tonova (256). Rezultat ove tehnike ispisa su visokokvalitetni otisci, odnosno najvjernije reprodukcije originala što je bitan zahtjev ispisa digitalne fotografije. Sublimacijski tisak je također specifičan po principu otiskivanja boja; za razliku od *Ink-Jet* pisača, sublimacijski pisači isti motiv ispisuju tri ili četiri puta, ovisno o tome koliko boja je korišteno za proces ispisivanja. Ovakav proces je moguć isključivo dobrom kontrolom registra koji kontrolira pozicioniranje svake rasterske točke. [20]



Slika 17. Princip sublimacijskog tiska termalnom sublimacijom

Izvor: [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Predavanje%209a%20DiT.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Predavanje%209a%20DiT.pdf)

## 2.8 Ink-Jet pisači

*Ink-Jet* pisači (Slika 18.) danas postaju sve dominantniji u kategoriji niže budžetnih printera za ispis digitalne fotografije zbog svoje cjenovne pristupačnosti, dok u isto vrijeme zadovoljavaju višu razinu kvalitete ispisa u kombinaciji s optimalnim odabirom tiskovne podloge koja može biti klasično sjajna ili mat. Nedostaci ove tehnike ispisa digitalne fotografije su cijene repromaterijala i tonera. Kako bi kvaliteta reprodukcije ovom tehnikom ispisa digitalne fotografije bila na visokoj razini, potrebno je uložiti u kvalitetu tiskovne podloge. *Ink-Jet* je jedna od najjednostavnijih tehnika ispisa digitalne fotografije, i otiskivanja općenito, čiji se način rada svodi na potpuno beskontaktnoj tehnici gdje se tekuća bojila direktno nanose na tiskovnu podlogu. *Ink-Jet* pisači formiraju kapljice u rasponu od 1 do 100 pikolitara i za ovu tehniku ispisivanja koristi se tekuće bojilo.



Slika 18. *Ink-Jet* pisač

Izvor: <http://www.scorpioweb.com.hr/images/lg-format-print.png>

Kapljice bojila u *Ink-Jetu* nastaju na mlaznicama u tri faze:

- Formiranje meniskusa
- Razvlačenje kapljice
- Formiranje samostalne kapljice

Otisak kod ove tehnike tiska nastaje na četiri načina

- Po principu digitalnog rastriranja – koristi standardni raster i otiskuje se samo jedna kap
- Po principu varijabilnog broja kapljica – koristi se ista gustoća bojila i manje kapljice te otiskuje se više kapi na istu poziciju ili manji broj kapi
- Po principu različite gustoće bojila – koristi se različita gustoća bojila i otiskuje se jednom kapi istih dimenzija ili tamnijom kapljicom dobije se tamniji ton
- Po principu direktne varijacije volumena kapljice – koristi se varijacija signala u skladu s veličinom kapljice te se otiskuje sa jednom kapi različitih dimenzija gdje veća kapljica diktira tamniji ton na otisku

Tako tehniku *Ink Jeta* dijelimo na:

- a) Kontinuirani *Ink-Jet* – kapljice se formiraju kontinuirano, nabijaju se nabijajućim elektrodama, a ploča za skretanje visokim naponom kapljicu skreće prema tiskovnoj podlozi ili u odvod suvišne boje
- b) *Ink-Jet* s principom kapanja na zahtjev – još poznat kao termalni *Ink-Jet* gdje se kapljica bojila formira pomoću grijača koji se nalazi u mikrokomori, a ispušta se principom vršnog okidanja ili principom bočnog okidanja. Kapljica se formira u pet faza:
  - Zagrijavanje mikrogrijača na 300°C
  - Stvaranje jezgre mjehura
  - Formiranje plinskog mjehura
  - Prestanak zagrijavanja
  - Oslobađanje kapljice bojila

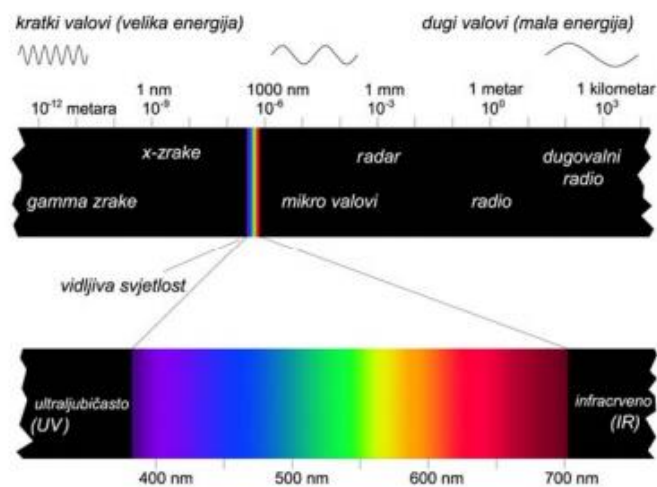
- c) Piezoelektrični *Ink-Jet* – češće primjenjiv u grafičkoj industriji zbog jednostavnijeg principa nastajanja kapljica i mogućnosti korištenja svih vrsta bojila. Ova tehnika *Ink-Jet*-a dobila je naziv po piezoelektričnom kristalu koji služi za stvaranje pojedinačnih kapljica, a ponašaju se kao izolatori ako nisu izloženi djelovanju električnog polja. Izlaganjem električnom polju, piezo kristal počinje se ponašati kao dipol, doživljava mehanički stres i na površini dielektrika nastaje električna struja. Postoje tri principa piezoelektričnog *Ink-Jet*-a:
- Gurajući
  - Istiskujući
  - Smicajući
- d) Elektrostatski *Ink-Jet*- temelji se na stalnom djelovanju električnog polja koje je formirano između ploče s mlaznicama i nosača tiskovne podloge. Tekuće bojilo kod ovog principa ispušta se laganim podtlakom unutar mlazne komore, a najčešće se ono temelji na sistemu zagrijavanja prstenastim grijačima. U kontaktu bojila s hladnom tiskovnom podlogom dolazi do naglog hlađenja prilikom čega dolazi do potpunog skrućivanja pa se ovaj princip *Ink Jeta* često koristi kod neupijajućih tiskovnih podloga kao što su keramika, staklo ili metal.

Protočni *Ink-Jet*- spada u hibridne *Ink-Jet* tehnologije gdje se kombinira tehnika kontinuiranog *Ink-Jet*-a i *Ink-Jet* tehnika kapanja na zahtjev. Dio principa kontinuiranog *Ink Jeta* koji se ovdje koristi je način distribucije boje dok se formiranje kapljice izvodi principom kapanja na zahtjev. [20, 21]

## 2.9 Standardni izvori svjetla

### 2.9.1 Svijetlost

Svijetlost predstavlja jedan od nužnih uvjeta za percepciju boje. Samo elektromagnetno zračenje valnih duljina prikazanih na slici 19 može pobuditi vizualni osjet i taj dio se naziva vidljivi dio spektra. Izvor svjetlosti mora zračiti na svim valnim duljinama vidljivog dijela spektra. Dok intenzitet pojedinih valnih duljina ne mora biti isti.



Slika 19. Spektar elektromagnetskih valova i vidljivog dijela spektra

Izvor: Fraser B., «Real World Color Management», Peachpit Press, Berkeley, 2003., str. 7

### 2.9.2 Prirodni izvor svjetla

Prirodno svjetlo je mješavina svjetla koje dolazi od sunca i s neba. Gdje je sunčeva svjetlost dominantna i daje tople boje, te uzrokuje svijetle tonove i jake sjene. "Nebeska" svjetlost pruža hladne boje i obasjava objekt mekanim raspršenim svjetlom.

Na prirodno osvjetljenje ne može se utjecati. Karakteristike dnevnog svjetla mijenjaju se ovisno o dobu dana, vremenskim uvjetima i godišnjem dobu.

U prirodi je najzanimljivije svjetlo koje nastaje rano ujutro i ono koje nas uvodi u noć. Tijekom zalaska sunca, dramatične zrake sunčeva svjetla preuzimaju narančastu boju i pružaju krajoliku topao ton.

### 2.9.3 Umjetna rasvjeta

U fotografiji se najčešće koristi pet osnovnih tipova umjetne rasvjete: nitraphot žarulje, halogene žarulje, HMI žarulje, fluorescentne cijevi i bljeskalice. Osim prema tipu izvora, rasvjetu a se može podijeliti na kontinuiranu i bljeskavu. U kontinuiranu rasvjetu pripadaju svi izvori svjetla koji imaju stalnu emisiju svjetla, a u bljeskavu oni koji emitiraju svjetlo u kratkim impulsima, bljeskovima. [22]

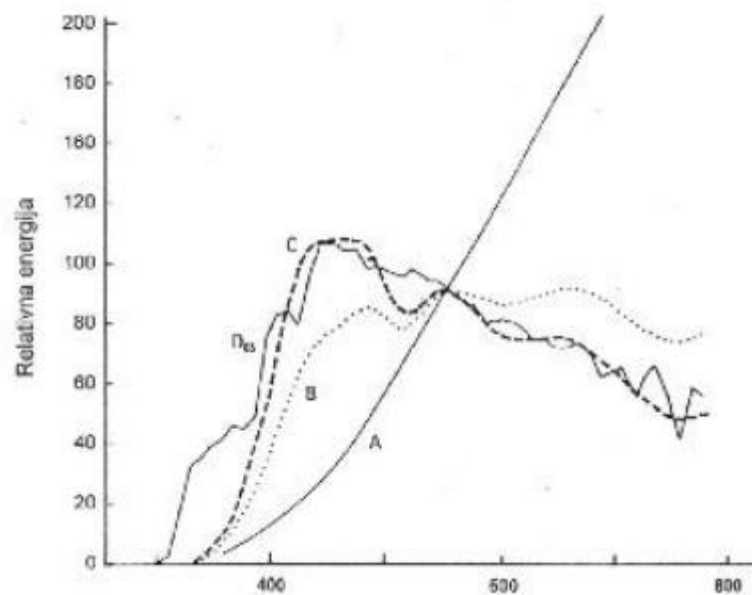
Umjetna rasvjeta ima prednosti i mane. Prednost umjetne rasvjete je u tome što njome može kontrolirati jačinu osvjetljenja, smjer osvjetljenja, a time i jačinu i pad sjena. U studiju se koristi difuzno svjetlo i reflektori, kako bi u kombinaciji proizveli optimalan kontrast.

### 2.9.4 Vrste svjetlosti - CIE Standardni Illuminanti

CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) - međunarodna komisija za rasvjetu je 1931 godine standardizirala 6 osnovnih kategorija izvora svjetlosti s obzirom na njihove temperature boje svjetla - tablica 1. Izvor svjetlosti predstavlja fizičko spektralno zračenje na nekom objektu gledano od strane promatrača. CIE standardni iluminat i izvor svjetla mogu se definirati preko temperature boje zračenja CCT (eng. *correlated colour temperature*).

Tablica 1. CIE standardni izvori svjetlosti [23]

Oznaka izvora svjetlosti	Vrsta izvora svjetlosti	Temperatura boje svjetlosti
<b>A</b>	klasično umjetno svjetlo - žarulja s volframovom niti	2856 ° K
<b>B</b>	filtrirano sunčevo svjetlo	4874 ° K
<b>C</b>	sunčevo dnevno svjetlo	6774 ° K
<b>D</b>	izvedeni izvori svjetla	D55 = 5500 ° K D65 = 6500 ° K D75 = 7500 ° K
<b>E</b>	izoenergetsko svjetlo, hipotetski izvor koji na svim valnim duljinama zrači jednaku količinu energije	5400 ° K
<b>F</b>	flourescentni izvori F1 - F12	F2 = 4260 <sup>0</sup> K F8 = 5000 <sup>0</sup> K F11 = 4000 <sup>0</sup> K



Slika 20. Spektralna raspodjela energije iluminata

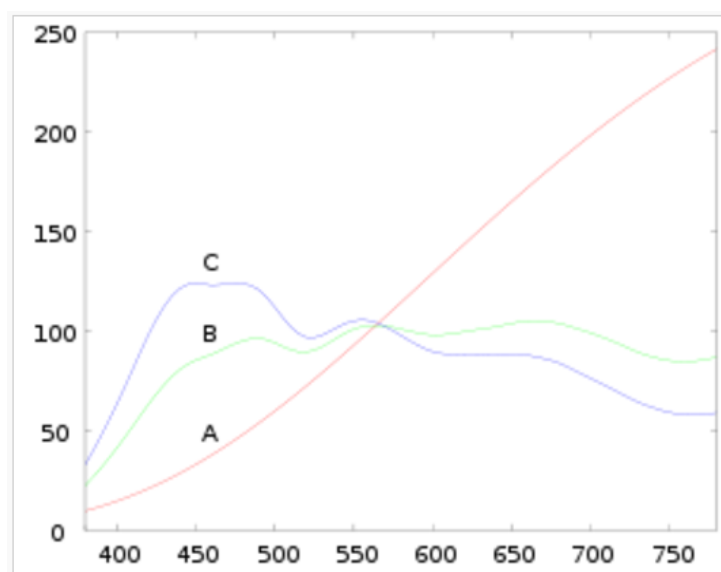
Izvor: [http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)



## 1. CIE Iluminant A, B i C

CIE standardni iluminant A predstavlja osvjetljenost tipičnu za kućanstvo, sa Volframovom žarnom niti. Njegova relativna spektralna raspodjela snage je 2856 K. Svjetlost nastaje kada se žarna nit grije pri niskom tlaku. Svjetlost koju zrači je žuto crvene boje. Najveći dio energije pretvara se u toplinsku energiju (oko 90%), a manji dio u svjetlosnu.

Iluminanti B i C predstavljaju izravno danje svjetlo. Mogu biti izvedeni od iluminanta A uz pomoć filtera s visokom apsorpcijom u crvenom dijelu spektra. Iluminant B je predstavnik Sunčeve svjetlosti u podne s temperaturom zračenja od 4874 K dok C predstavlja prosječnu dnevnu svjetlost s temperaturom zračenja od 6774. Relativna spektralna raspodjela snage Iluminata A, B i C od 380 nm do 780 nm prikazane su na slici 21.. S obzirom na njihov nedostatak pri valnim duljinama ispod 400 nm danas se više skoro pa i ne upotrebljavaju. Zamjenjeni su Iluminantom D. [24]

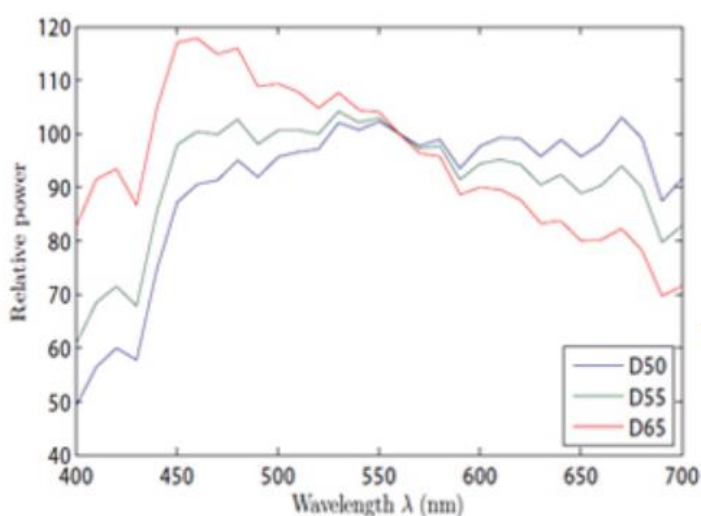


Slika 21. Relativna spektralna raspodjela snage Iluminata A, B i C

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_illuminant](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_illuminant)

## 2. CIE Iluminant D

Standardni iluminant D predstavlja prirodno dnevno svjetlo. Teško ga je proizvesti tvornički, ali se matematički lako vrednuje. CIE D65 je vrsta osvjetljenja koje imitira vanjsko dnevno svjetlo, a temperatura boje mu je oko 6500 K. Upotrebljava se u kolorimetrijskim istraživanjima kada je potrebno simulirati Sunčevu svjetlost. Osim vidljivog dijela spektra, sadrži i nevidljivi UV dio spektra do 300 nm. D50 ima temperaturu boje od 5003 K. D55 je žućkasta dnevna svjetlost temperature boje od 5503 K, dok je D75 plava dnevna svjetlost temperature boje od 7504 K. D55 i D65 se upotrebljavaju kao iluminanti u tisku, fotografiji i u industriji boja. [24]



Slika 22. Relativna spektralna raspodjela snage Iluminata D50, D55 i D65

Izvor: <http://www.image-engineering.de/library/technotes/753-cie-standard-illuminants>

## 3. CIE Iluminant E

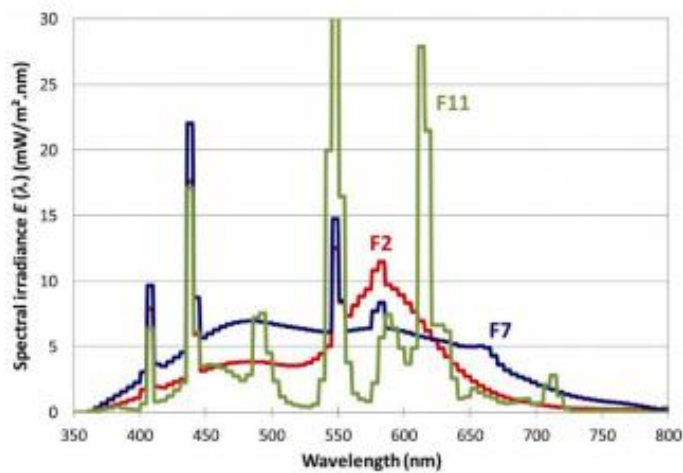
Iluminant E je imaginarni iluminant. Ima jednaku spektralnu energiju unutar cijelog vidljivog dijela spektra. Koristan je kao teorijska referenca, iluminant koji pridaje jednaku važnost svim valnim duljinama predstavljajući ravnomjernu boju. Iluminant E nije crno tijelo, pa nema temperaturu zračenja boje, ali može biti aproksimirano s D iluminantom temperaturom zračenja boje od 5455 K. [24]

## 4. CIE Iluminant F

Standardni iluminant F predstavlja različite tipove fluorescentne rasvjete. Fluorescentne žarulje svjetlost generiraju izbojem u živinim parama te tako nastaje UV zračenje koje se

uz djelovanje fosfnog zračenja pretvara u vidljivi spektar. Fluorescentna rasvjeta se obično upotrebljavala zbog visoke električne učinkovitosti (većina energije se troši na stvaranje svjetlosne energije) i slična je prirodnoj svjetlosti. CIE je definirala 12 tipova fluorescentnih iluminanata od F1 do F12. F- serije iluminanata su podjeljene u 3 grupe s obzirom na emisiju spektra izvora svjetlosti koju predstavljaju:

1. F1 - F6 – standardne fluorescentne žarulje;
2. F7 - F9 – širokopoljasne fluorescentne žarulje;
3. F10 - F12 – tri usko poljasne fluorescentne žarulje. [24]



Slika 23. Tipovi fluorescentnih iluminanata

Izvor: <http://www.mdpi.com/1996-1073/7/3/1500/htm>

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1 Opis istraživanja

Cilj rada je pokazati na koji način i u kojoj mjeri postoji korelacija između izbora definiranih izvora svjetla određene temperature te u konačnici doživljaja realiziranih odnosno ispisanih digitalnih fotografija. Pri tome se u radu kvantitativnim odnosno mjernim, a u konačnici i kvalitativnim subjektivnim metodama provjerila hipoteza da doživljaj fotografske slike ovisi ne samo o motivu koji je fotografiran nego i o tehnici u kojoj je ispisan s obzirom na to da se takve ispise u pravilu promatra pod određenim izvorima svjetla koji su predefiniрани i prilagođeni određenim standardima.

U svrhu izrade ovog rada i vezanog istraživanja pristupilo se izradi digitalnih fotografskih slika s motivima mrtve prirode, pejzaža i portreta koji su prikazani na slikama 24., 25., 26. pritom koristeći dostupnu fotografsku opremu koja će biti opisana u daljnjem radu. Snimljene i obrađene fotografije ispisane su tri puta, a da pri tom nisu mjenjani nikakvi parametri na samim fotografijama. Tada se vizualno, pri točno definiranim uvjetima, uz tri standardna izvora svjetla promatraju i uspoređuju odabrane fotografije. Sudionici za istraživanje su nasumično odabrani, različitog spola i dobi. Njihov zadatak je bio odabrati optimalnu fotografiju koja po njihovom osobnom doživljaju i percepciji najbolje funkcionira pri određenom izvoru svjetla.



Slika 24. Mrtva priroda

Odabrana fotografija mrtve prirode (slika 24.) snimljena je fotografskim aparatom Nikon D7000, s odgovarajućim bijelim balansom te uz osjetljivost 100 ISO, pri otvoru blende  $f/3.5$ , elementima ekspozicije  $1/125$  sekundi, te objektivom Nikkor žarišne duljine 50 mm. Fotografija je sačuvana u JPEG zapisu uz rezoluciju 12.2 MP.



Slika 25. Pejzaž

Odabrana fotografija pejzaža (slika 25.) snimljena je fotografskim aparatom Nikon D7000, s odgovarajućim bijelim balansom te uz osjetljivost 300 ISO, pri otvoru blende  $f/10$ , elementima ekspozicije  $1/250$  sekundi, te objektivom Nikkor žarišne duljine 18-55 mm. Fotografija je sačuvana u JPEG zapisu uz rezoluciju 12.2 MP.



Slika 26. Portret

Odabrana fotografija portreta (slika 26.) snimljena je fotografskim aparatom Nikon D90, s odgovarajućim bijelim balansom te uz osjetljivost 400 ISO, pri otvoru blende  $f/4.8$ , elementima ekspozicije  $1/100$  sekundi, te objektivom Nikkor žarišne duljine 42 mm. Fotografija je sačuvana u JPEG zapisu uz rezoluciju 12.2 MP.

### 3.2 Istraživanje kvalitativnom metodom

Postoji 5 tehnika ocjenjivanja originala i uzorka u krosmedijskom sustavu (treba imati na umu da drugačije formate zapisa možemo uspoređivati s drugačijim medijima). Prva tehnika je memorijsko usuglašavanje kod koje sudionik istraživanja procjenjuje razliku između originala i reprodukcije na temelju sjećanja. Naime prvo se pokazuje original nakon čega sudionik istraživanja dobiva uvid u reprodukciju te na temelju sjećanja donosi zaključke o razlikama između promatranih uzoraka, a povratak na original u ovoj tehnici nije moguć. Sukcesivno binokularno memorijsko usuglašavanje predviđa da se na jednak način naizmjenično sudioniku istraživanja pokazuju uzorci, no za razliku od običnog memorijskog usuglašavanja sudionik ima mogućnost vraćanja na pojedinu sliku iako ih ne vidi zajedno na istom mjestu. Simultano binokularno usuglašavanje je jedna od najčešćih tehnika vizualnog ocjenjivanja u grafičkoj industriji i predviđa da sudionik istraživanja komparaciju vrši istovremeno gledajući oba uzorka, postavljene jedan kraj drugoga. Simultano haploskopsko usuglašavanje omogućuje sudioniku istraživanja da istovremeno gleda oba uzorka međutim original gleda jednim, a reprodukciju drugim okom, dok su vidna polja razdvojena pregradom odnosno zaslonom. Posljednja tehnika je sukcesivno „Gazfeldovo“ haploskopsko usuglašavanje koje je istovjetno prethodnoj tehnici, no onemogućuje sudioniku istraživanja da istovremeno vidi oba uzorka.[26]

Za kvalitativni dio eksperimentalnog istraživanja snimljene su digitalne fotografije ranije spomenutom opremom. Zatim su odabrane fotografije sačuvane u JPEG formatu te učitane Adobe Photoshop CS6 program. Fotografije su smanjene na format 6 cm x 9 cm, 300 dpi, te namještene da se ispis odvijaju u RGB sustavu boja.

Nakon što su podešeni svi potrebni parametri i dobiven krajnji izgled testnih uzoraka u digitalnom obliku pristupilo se ispisu. Ispis je proveden na printeru za digitalni tisak Xerox iGen3. Isprintana su po tri uzorka svakog motiva. Uzorci su ispisani na bijelom sjajnom papiru 350 grama. Ispisani uzorci izreznani su zatim na dimenzije 6 cm x 9 cm.

Definirani su uvjeti istraživanja. Svaki sudionik treba imati iste uvjete da bi rezultati bili valjani. Udaljenost sudionika od uzorka je određena aproksimacijom da je za udaljenost objekta od promatrača u iznosu od 60 cm, vidni kut za visinu objekta od 1cm odgovara 1°[27].



Podaci su prikupljeni posrednim individualnim usmenim i vizualnim opažanjem na testnim uzorcima koji su bili izloženi u komori za ispitivanje. Komora za ispitivanje koja je korištena je *The Color Rendition Demonstrator*, model CRD-1, marke GTI gtilite (Slika 27.), koja je obrazovni i komunikacijski alat dizajniran za pokazivanje učinka različitih izvora svjetlosti na identičnim uzorcima boja. sastavljena od tri odvojene komore, svaki odjeljak ima pregledanost od 28 cm visine, 24cm širine i 18 cm dubine.[28]

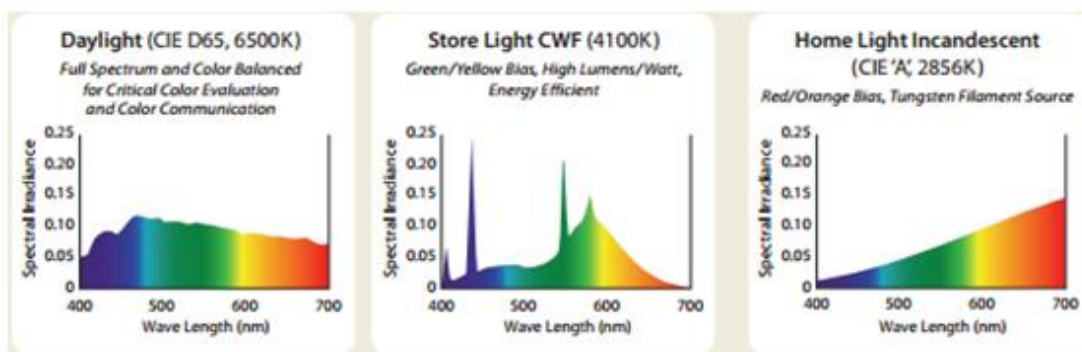


Slika 27. Svjetlosna komora

Izvor: <http://www.gtilite.com/pdf/ColorMatcher%20Series.PDF>

U svakoj komori nalazi se drugi izvor svjetla:

1. Komora I. *Cool White Fluorescent* („*StoreLight*“) izvor svjetla kojeg najčešće susrećemo u izlozima dućana
2. Komora II. *D65 Fluorescent* („*DayLight*“) dnevno svjetlo 6500K
3. Komora III. *Incandescent* („*HomeLight*“) izvor svjetla s kojim se susreće u domovima .[28]



Slika 28. Spektralne krivulje izvora svjetlosti

Izvor: <http://www.gtilite.com/pdf/ColorMatcher%20Series.PDF>

### 3.2.1 Princip provođenja istraživanja

Nakon napravljenih priprema sve je spremno za početak ispitivanja. U istraživanju je sudjelovalo 100 ispitanika raznih dobnih skupina i oba spola. Ponuđeni motivi su prikazani na slikama 24., 25., 26.. koji su kako je ranije objašnjeno postavljeni u tri komore pod tri različita standardna izvora svjetla. Zadatak sudionika istraživanja je bio da odaberu onu fotografiju koja najprirodnije izgleda i onu koja izgleda najneprirodnije.

### 3.3 Istraživanje kvantitativnom metodom

Kvantitativno istraživanje napravljeno je kolorimetrijski. Kolorimetrija je grana nauke o bojama koja se u prvom redu bavi brojčanim određivanjem boje u odnosu na određeni vizualni podražaj. [29]

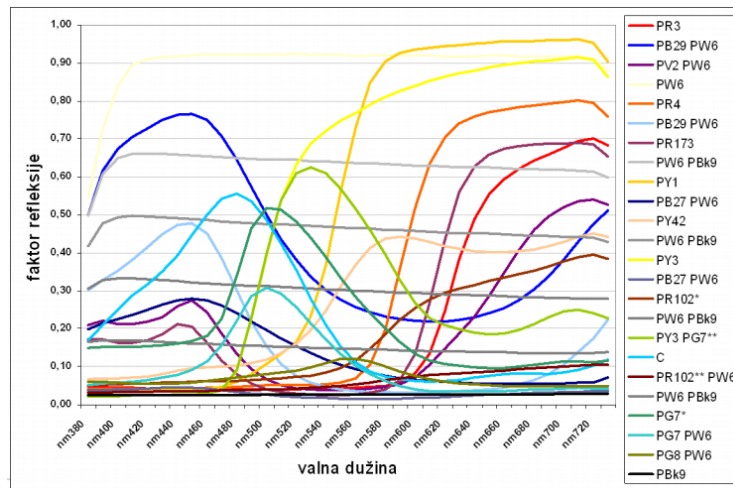
#### 3.3.1. Mjerni uređaji korišteni u istraživanju

Spektrofotometar je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. U grafičkoj industriji najčešće se koriste spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 350 nm do 750 nm. Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine (ili intervale valnih dužina) pomoću mono- kromatora. Kao monokromator koristi se prizma ili optička rešetka. Pojedinačnim valnim dužinama izdvojenim monokromatorom, osvjetljava se ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij- oksid, MgO). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spomenuta, spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se predvidjeti koji će izvori svjetla dovesti do pojave metamerije. [29]



Slika 29. X-rite exAct

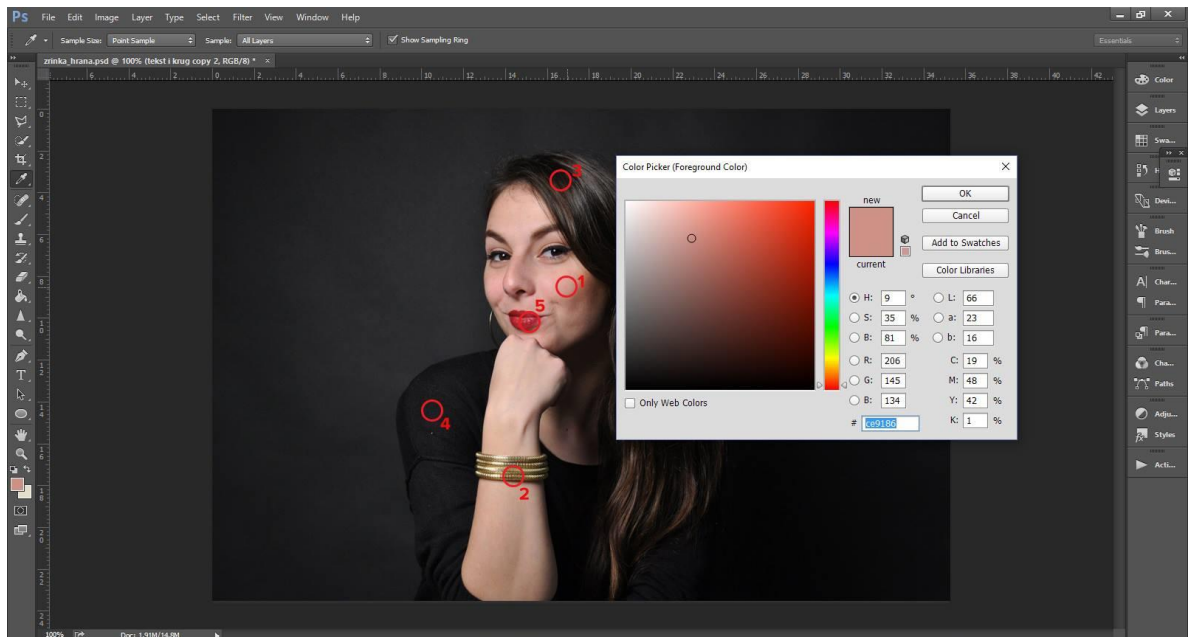
Izvor: <http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>



Slika 30. Spektrofotometrijska krivulja

Izvor: [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf)

U drugom slučaju mjerenja korišten je digitalni fotografski laboratorij. Prilikom tog djela istraživanja određivale su se kolorimetrijske vrijednosti izabranog uzorka u svrhu određivanja  $\Delta E$ .



Slika 31. Prikaz korištenja digitalnog fotografskog laboratorija

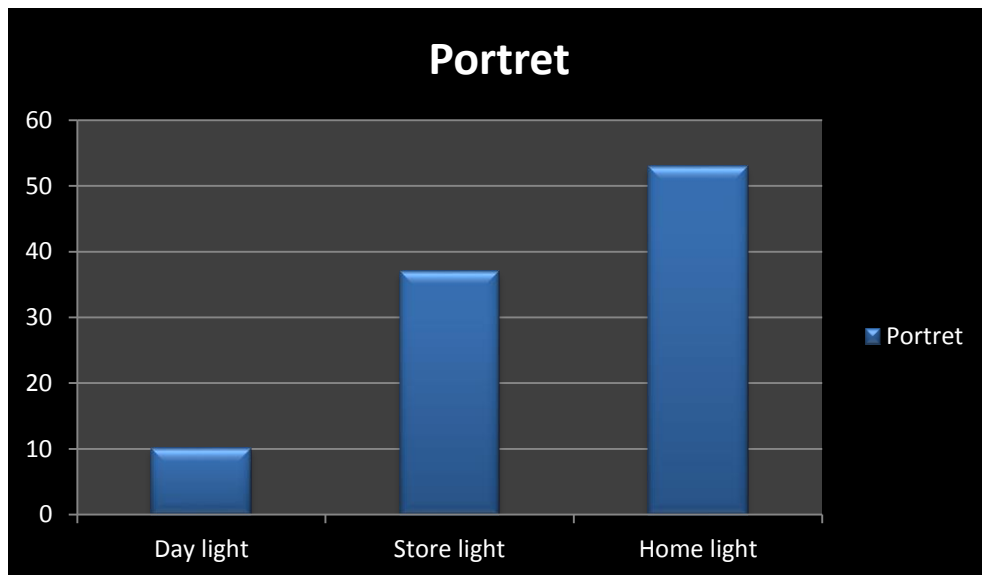
$\Delta E$  vrijednost dolazi od njemačke riječi "*Empfindung*," koja znači osjećaj, osjet.  $\Delta E$  vrijednosti 1 ili manje između 2 boje koje se ne dodiruju, je jedva primjetan osjetu vida prosječnog promatrača, a  $\Delta E$  između 3 i 6 je tolerirana razlika u komercijalnoj upotrebi reprodukcije boja u tisku. Sve vrijednosti više od 6 su neprihvatljive. Postoji više metoda izračunavanja delta  $\Delta E$  vrijednosti. Najuobičajenije su  $\Delta E$  1976,  $\Delta E$  1994,  $\Delta E$  CMC, i  $\Delta E$  2000. [30]

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1 Kvalitativni dio istraživanja

#### 4.1.1 Kvalitativni dio istraživanja za portret

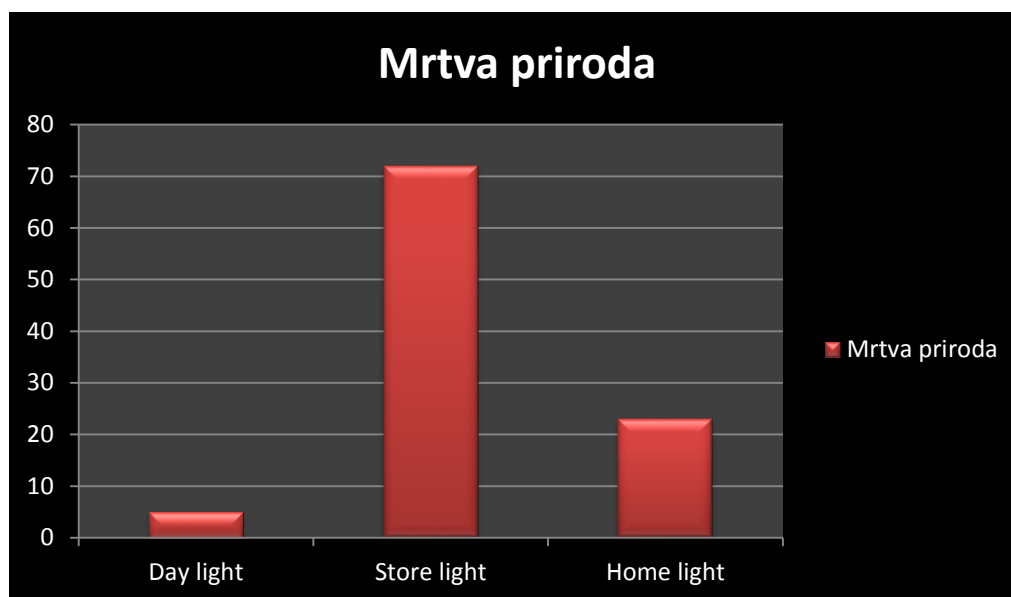
Graf 1. Grafički prikaz rezultata za portret



Sudionici su fotografiju portreta osvijetljenu *home light* izvorom svjetla izabrali kao najbolju, njih 53, za onu osvijetljenu *store light* izvorom svjetla se odlučilo njih 37, dok je samo 10 ispitanika reklo da im portret najprirodnije izgleda pod *day light* izvorom svjetla.

#### 4.1.2 Kvalitatini dio istraživanja za mrtvu prirodu

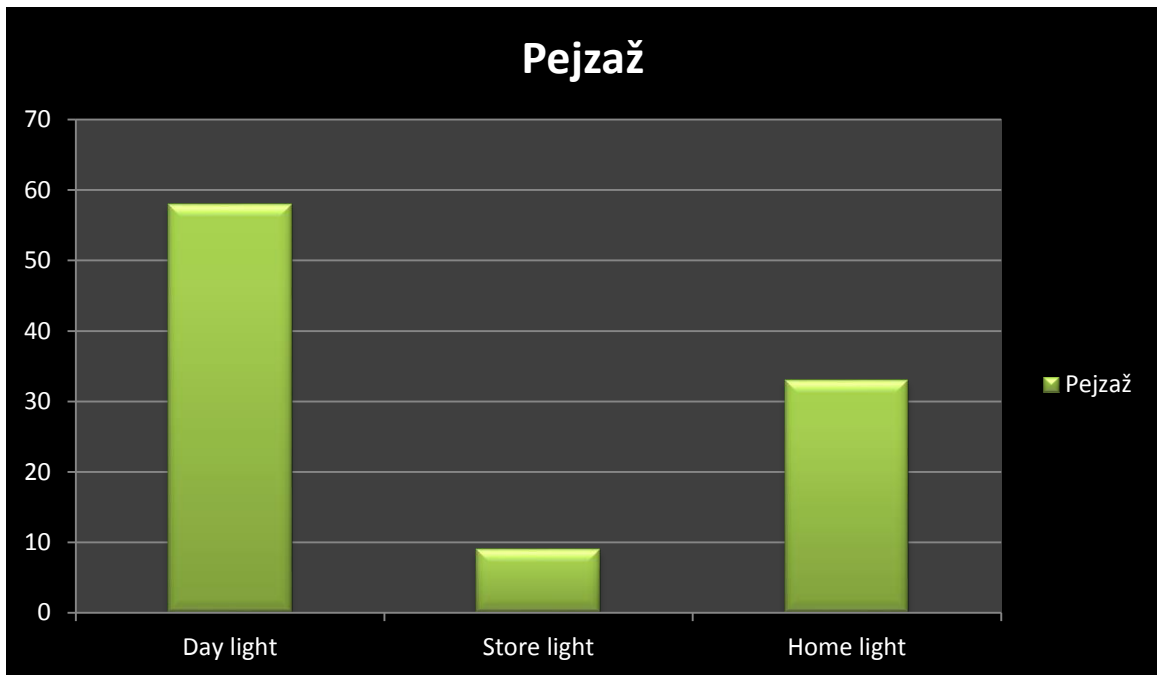
Graf 2. Grafički prikaz rezultata za mrtvu prirodu



Sudionici su fotografiju mrtve prirode osvijetljenu *store light* izvorom svjetla izabrali kao najbolju, njih 72, za onu osvijetljenu *home light* izvorom svjetla se odlučilo njih 23, dok je samo 5 ispitanika reklo da im fotografija mrtve prirode najprirodnije izgleda pod *day light* izvorom svjetla.

#### 4.1.3 Kvalitativni dio istraživanja za pejzaž

Graf 3. Grafički prikaz rezultata za mrtvu prirodu



Sudionici su fotografiju pejzaža osvijetljenu *day light* izvorom svjetla izabrali kao najbolju, njih 58, za onu osvijetljenu *home light* izvorom svjetla se odlučilo njih 33, dok je samo 9 ispitanika reklo da im mrtva priroda najprirodnije izgleda pod *store light* izvorom svjetla.

Ukoliko se uspoređuju rezultati iz grafova 1., 2. i 3. može se vidjeti kako je kod svake fotografije odabrana drugačiji standardni izvor svjetla pod kojim fotografija izgleda najprirodnije. Razlog tomu može se objasniti razlikom motiva koji se nalazi na fotografijama.



## 4.2 Kvantitativni dio istraživanja

### 4.1.1. Rezultati istraživanja digitalnim fotografskim laboratorijem



Slika 32. Mjesta uzimanja uzoraka na portretu

Tablica 1. Izmjerene Lab vrijednosti za portret u digitalnom fotografskom laboratoriju

L	a	b
67	17	14
44	5	20
7	1	2
12	1	-3
39	52	26

Tablica 1 pokazuje rezultate mjerenja u digitalnom fotografskom laboratoriju vrijednosti 5 polja na fotografiji portreta u CIE L\*a\*b sustavu boja izmjerenih na originalnom uzorku pohranjenom u JPEG formatu.



Slika 33. Mjesta uzimanja uzoraka na mrtvoj prirodi

Tablica 2. Izmjerene Lab vrijednosti za mrtvu prirodu u digitalnom fotografskom laboratoriju

L	a	b
89	8	20
6	16	9
63	-19	64
77	-3	17
59	-9	61

Tablica 2 pokazuje rezultate mjerenja u digitalnom fotografskom laboratoriju vrijednosti 5 polja na fotografiji mrtve prirode u CIE L\*a\*b sustavu boja izmjerenih na originalnom uzorku pohranjenom u JPEG formatu.



Slika 34. Mjesta uzimanja uzoraka na pejzažu

Tablica 3. Izmjerene Lab vrijednosti za pejzaž u digitalnom fotografskom laboratoriju

L	a	b
60	4	19
88	-3	4
42	12	26
17	-6	8
68	-6	4

Tablica 3 pokazuje rezultate mjerenja u digitalnom fotografskom laboratoriju vrijednosti 5 polja na fotografiji pejzaža u CIE L\*a\*b sustavu boja izmjerenih na originalnom uzorku pohranjenom u JPEG formatu.

#### 4.1.2. Rezultati istraživanja spektrofotometrom

Tablica 4. Izmjerene Lab vrijednosti za portret spektrofotometrom

PORTRET			
	L	a	b
1	56.75	21.94	-4.03
2	33.32	9	-6.85
3	22.17	4.67	-12.41
4	13.11	3.23	-10.3
5	37.95	31.85	-4.43

Tablica 5. Izmjerene Lab vrijednosti za mrtvu prirodu spektrofotometrom

MRTVA PRIRODA		
L	a	b
71.08	26.91	14.55
15.43	13.68	-2.64
45.28	-4.03	21.31
59.9	1.47	10.61
47	2.03	21.57

Tablica 6. Izmjerene Lab vrijednosti za pejzaž spektrofotometrom

PEJZAŽ		
L	a	b
44.65	8.96	1.16
75.57	0.08	-6.2
43.87	17.79	6.25
23.67	-3.66	-8.78
60.7	-2.49	-11.06

U tablicama 4, 5 i 6 prikazane su izmjerene Lab vrijednosti za snimljene fotografije.

Tablica 7. Izračunate  $\Delta E_{00}$  vrijednosti za fotografiju portreta

Broj polja	L1	L2	$\Delta E_{00}$	tolerancija
1	56.75	67	9.46	Neprihvatljivo
2	33.32	44	9.99	Neprihvatljivo
3	22.17	7	10.04	Neprihvatljivo
4	13.11	12	1.83	Malo odstupanje
5	37.95	39	3.13	prihvatljivo

Tablica 8. Izračunate  $\Delta E_{00}$  vrijednosti za fotografiju mrtve prirode

Broj polja	L1	L2	$\Delta E_{00}$	tolerancija
1	71.08	89	12.88	Neprihvatljivo
2	15.43	6	7.08	Neprihvatljivo
3	45.28	63	17.06	Neprihvatljivo
4	59.9	77	13.58	Neprihvatljivo
5	47	59	12.08	Neprihvatljivo

Tablica 9. Izračunate  $\Delta E_{00}$  vrijednosti za fotografiju pejzaža

Broj polja	L1	L2	$\Delta E_{00}$	tolerancija
1	44.65	60	15.51	Neprihvatljivo
2	75.57	88	9.28	Neprihvatljivo
3	43.87	42	2.24	Prihvatljivo
4	23.67	17	4.92	Veliko odstupanje
5	60.7	68	6.75	Neprihvatljivo

Iz rezultata izračunatih vrijednosti  $\Delta E_{00}$  (tablice 7., 8. i 9.) se može vidjeti kako je došlo do velike promijene boje prilikom ispisa fotografije u odnosu na iste prikazane na računalu. U svim slučajevima, bez obzira na vrstu fotografije rezultati su neprihvatljivi.

## 5. ZAKLJUČAK

Kvalitativnim dijelom istraživanja je pokazano kako i utjecaj izvora svjetla i sami motiv imaju utjecaja na percepciju fotografije. Kod svake od fotografija koje su korištene u istraživanju sudionici istraživanja su odabrali fotografiju s drugim standardnim izvorom svjetla kao najprirodniju, kao i za najneprirodniju. Tako se može vidjeti kako je kod portretne fotografije većina ispitanika odgovorila kako je najprirodnija ona osvijetljena *home light* izvorom svjetla, a za najneprirodniju onu osvijetljenu *day light* izvorom svjetla. Razlog tomu može biti činjenica da većina ljudi prilikom promatranja portreta češće voli vidjeti tople boje i rumenu kožu koja izgleda zdravo, što se *home light* izvorom svjetla i postiže s obzirom da upravo taj izvor svjetla isijava toplim svjetlom. Ako se promatraju fotografija na kojima je motiv mrtva priroda, većina ispitanika je odgovorila kako je najprirodnija ona gledana pod *store light* izvorom svjetla. Razlog tome može biti činjenica kako se pod tim svjetlom voće prezentira u trgovinama i vrlo vjerojatno ih podsjeća na svakodnevno viđenje voća pod istim uvjetima osvijetljenja. Dok su kod promatranja fotografija pejzaža sudionici istraživanja odabrali fotografiju osvijetljenu *day light* izvorom svjetla, a razlog tome je što upravo taj izvor svjetla isijava najveći dio spektra i emitira dnevno svjetlo. Prikaz pejzaža pod takvim izvorom svjetla im izgleda najprirodnije jer ga vide kao u prirodi.

Iz svega navedenog se može zaključiti kako ne postoji univerzalno pravilo kojim bi se pristupilo svim fotografijama pri odabiru izvora svjetlosti. To znači da se prilikom izrade fotografije treba voditi računa o samom motivu, te na osnovu toga odabrati i izvore svjetla pod koje će se te iste fotografije postaviti odnosno promatrati.

Kvantitativnim dijelom istraživanja se pokazalo kako je ispisom fotografija došlo do velikih promijena. Skoro svi rezultati su neprihvatljivi bez obzira na fotografiju na kojoj su se vršila mjerenja. Razlog tomu može biti pisač ili fotografski papir na kojima se ispis vršio ili pak njihova kombinacija.



Iz rezultata kvantitativnog dijela se može zaključiti kako je potrebno odraditi detaljnija istraživanja prilikom ispisa fotografija. Mogući smjerovi u kojima bi se nastali problem mogao istražiti su ili da se pokuša sa različitim korekcijama u digitalnom obliku fotografije prije ispisa ili istraživanje metodom pokušaja i pogrešaka ispisa fotografija na različitim pisacima i fotografskim papirima.



## 6. LITERATURA

1. Tom Ang, Cjelovit priručnik za digitalnu fotografiju, Leo Commerce, Rijeka 2006.
2. Oš Strahoninec, Osnove fotografije, Foto-priručnik za početnike u fotografiji, listopad 2009.
3. Dave Johnson, Kako upotrijebiti digitalni fotoaparat, Mikro knjiga, Zagreb, 2003
4. \*\*\*<https://sh.wikipedia.org/wiki/Piksel> (8.9.2016.)
5. Miroslav Mikota, Kreacija fotografijom, V. D. T. Publishing, Zagreb, 2000.
6. Milan Fizi, Fotografija, Epoha Zagreb, 1966.
7. Ivana Car, Marko Lazar, Mtija Mihaljenović, (2014), Panoramska fotografija, seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet Dotupno na:  
[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Panoramska%20fotografija.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Panoramska%20fotografija.pdf),  
(14.7.2016.)
8. <http://www.picturecorrect.com/tips/10-tips-for-taking-great-cityscape-photos/>,  
14.7.2016.
9. \*\*\*<http://www.ianplant.com/blog/2013/08/21/5-tips-for-better-intimate-landscapes/>  
(14.7.2016.)
10. Zoran Jančić, Zoran Kerkez, Ivana Miličić, (2008.) Digitalna fotografija i osnove obrade: Adobe Photoshop, Algebra, Zagreb, 14.7.2015.
11. Schanda J., (2007). Colorimetry: understanding the CIE system, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
12. \*\*\*[rsta.royalsocietypublishing.org](http://rsta.royalsocietypublishing.org). [Online] [Cited: 08 10, 2015.]  
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/366/1871/1685#sec-4>. (2.9.2016.)
13. Koschan, A., Abidi, M. (2008) Digital Color Image Processing, Wiley - Interscience, New York NY

14. \*\*\*repro.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 02, 2105.]  
[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Vjezba1.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Vjezba1.pdf) (3.9.2016.)
15. \*\*\*fotoprocesi.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 10, 2015.] 10.  
[http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)  
(3.9.2016.)
16. Solomon, C., Breckon, T. (2011) Fundamentals Of Digital Image Processing, Wiley - Blackwell, Chinchester UK
17. Hunt, R. W. G. (2004) The reproduction of colour - 6th Edition, The Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology, Chichester UK
18. Hirsch R., Valentino J. (2001), Photographic Possibilities: The Expressive Use of Ideas, Materials, and Processes, Focal Press, An imprint of Butterworth–Heinemann, Oxford
19. Allen E., Triantaphillidou S. (2001), The Manual of Photography, Elsevier Ltd Burlington
20. \*\*\* <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php> - Sveučilište u zagrebu, Grafički fakultet, 15.08.2016.
21. Burian P. K. (2014), Digital Photography and Imaging, SYBEX Inc., Alameda
22. \*\*\* <http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/svjetlo-i-rasvjeta/vrste-umjetne-rasvjete>, 14.09.2016.
23. Sharma A., «Understanding Color Management», Thomson Delmar Learning, New York, 2004. Str. 58.
24. \*\*\* <http://www.image-engineering.de/library/technotes/753-cie-standard-illuminants> 14.09.2016.
25. \*\*\* [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_illuminant](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_illuminant) 14.09.2016.

26. Milković M. (2006). Evaluacija odnosa psihofizikalno determiniranih vizualnih efekata i metoda prevođenja gamuta, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet
27. \*\*\* [https://en.wikipedia.org/wiki/Ishihara\\_](https://en.wikipedia.org/wiki/Ishihara_) 14.09.2016.
28. \*\*\*<http://www.gtilite.com/pdf/ColorMatcher%20Series.PDF> 14.09.2016.
29. \*\*\*[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf) 14.09.2016.
30.  
\*\*\*<http://www.tiskarstvo.net/tiskarstvo2011/clanciWeb/Agic/DarkoAgicUsporedbaRGB.html> 15.09.2016.