

# Usporedba osjetljivosti filma i CCD senzora

---

Lovrin, Maša

Master's thesis / Diplomski rad

2012

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:216:958873>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

MAŠA LOVRIN

USPOREDBA OSJETLJIVOSTI FILMA I  
CCD SENZORA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

MAŠA LOVRIN

USPOREDBA OSJETLJIVOSTI FILMA I  
CCD SENZORA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:  
Doc. dr. sc. Maja Strgar Kurečić

Student:  
Maša Lovrin

Zagreb, 2012.

## **SAŽETAK**

Tehnička kvaliteta fotografije izravno ovisi o ispravnoj ekspoziciji. Jedan od bitnih elemenata koji utječu na ispravnost ekspozicije je ISO osjetljivost. U ovom diplomskom radu biti će opisana osjetljivost filma i CCD senzora na svjetlo. Visoka osjetljivost na svjetlo (ISO osjetljivost) upotrebljava se pri slabim svjetlosnim uvjetima te za snimanje motiva u pokretu. Osjetljivost filma određena je samim karakteristikama fotomaterijala, dok se veća osjetljivost senzora postiže pojačavanjem signala pristiglog na senzor u ovisnosti o postavljenoj ISO vrijednosti.

Poznato je da povećanje osjetljivosti rezultira slabijom kvalitetom fotografije radi pojave zrna/šuma, te se uvijek preporuča koristiti najmanju moguću ISO vrijednost s obzirom na svjetlosne uvjete. Upravo zato je cilj ovog rada ispitati je li zrnatost koja se javlja pri većoj osjetljivosti u analognoj fotografiji prihvatljivija nego što je to pojava šuma u digitalnoj fotografiji.

Biti će opisan princip rada analognog fotoaparata i vrste filmova koje će se koristiti u radu, kao i princip rada digitalnog fotoaparata i vrste senzora koji se nalaze u takvim fotoaparatom. Istraživanje se će provesti uz pomoć digitalnog fotoaparata koji ima CCD senzor pa će on biti podrobnije opisan.

Također će biti objašnjeni načini uklanjanja negativnih pojava koje nastaju pri većoj osjetljivosti, ali i primjeri gdje takve pojave mogu pridonijeti umjetničkom ugođaju.

## **KLJUČNE RIJEČI**

ISO osjetljivost, film, CCD senzor, zrnatost, šum

## **ABSTRACT**

Technical quality in photography directly depends on the correct exposure. One of the most important elements that affect the accuracy of exposure is the ISO sensitivity. Film sensitivity, as well as sensitivity of a CCD sensor will be described in this research. The high light sensitivity (ISO setting) is used in low light conditions and to capture moving subjects. The sensitivity of the film is determined by the characteristics of the photo material, while the higher sensitivity of the sensor is achieved by boosting the signal on the sensor depending on the set ISO values.

It is known that an increase in sensitivity results in lower quality images because of grain / noise that appear on the photo, and is always recommended to use the lowest possible ISO value depending on lighting conditions. That is why the aim of this study is to examine whether the granularity that occurs at a higher sensitivity in the analog photography is more acceptable than the appearance of noise in digital photography.

The principle of analogue cameras and film types that are going to be used in the work, as well as the principle of a digital camera and sensor types that are found in such cameras will be described in this work. Digital camera with a CCD sensor will be used in this research, so the emphasis will be on this type of camera.

The ways of removing the negative phenomena that occur at a higher sensitivity are going to be explained, but examples where such phenomena can contribute to the artistic atmosphere will also be shown.

## **KEY WORDS**

ISO sensitivity, film, CCD sensor, film grain/granularity, noise

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1. ANALOGNA FOTOGRAFIJA .....	3
2.1.1. Princip rada analognog fotoaparata .....	3
2.1.2. Film i vrste filmova.....	5
2.1.3. Način digitaliziranja filma .....	7
2.2. DIGITALNA FOTOGRAFIJA.....	10
2.2.1. Princip rada digitalnog fotoaparata.....	11
2.2.2. Vrste senzora.....	12
2.3. OSJETLJIVOST NA SVJETLO.....	16
2.3.1. Osjetljivost na svjetlo – ISO osjetljivost.....	16
2.3.2. Osjetljivost filma.....	19
2.3.3. Primjena filmova različite osjetljivosti u različitim područjima fotografije...21	
2.3.4. Pojava zrnatosti u analognoj fotografiji.....	23
2.3.5. Osjetljivost CCD senzora.....	24
2.3.6. Pojava šuma u digitalnoj fotografiji.....	28
2.3.7. Softveri za uklanjanje šuma u digitalnoj fotografiji .....	32
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	34
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	38
5. ZAKLJUČAK.....	59
6. LITERATURA .....	61

## 1. UVOD

Postoji mnogo definicija kojima se može opisati fotografija – ona je umjetnost uočavanja i promatranja, ona je kreativnost koja zabavlja i informacija koja obavještava, međutim fotografija je i tehničko umijeće a u ovom radu će biti opisana upravo tehnička strana fotografije.

Fotografija opisuje proces snimanja slike koja nastaje kada svjetlost padne na podlogu osjetljivu na svjetlo, kao što je film ili elektronski senzor. Fotografija je „crtanje pomoću svjetla“, a dolazi od grčkih riječi „phos“ – svjetlo te „graphis“ – crtanje. Dakle, osnovni uvjet za nastanak fotografije, osim posjedovanja fotografske opreme, je svjetlo.

Bez prirodnog ili umjetnog izvora svjetla nije moguće dobiti fotografiju, a pogotovo je zahtjevno napraviti kvalitetnu fotografiju u slabijim svjetlosnim uvjetima, pa će upravo o tome biti riječi u ovom radu.

Cilj ovog diplomskog rada je pokazati koliko osjetljivost na svjetlo u analognoj i digitalnoj fotografiji utječe na tehničku kvalitetu, ali ujedno i na ugođaj fotografije. Postavlja se pitanje da li je pojava zrnatosti u analognoj fotografiji, odnosno pojava šuma u digitalnoj fotografiji nepoželjna ili pak pridonosi umjetničkom izričaju. Također je cilj ispitati na koje načine se takve pojave mogu umanjiti ukoliko su nepoželjne.

Istražiti će se maksimalna ISO vrijednost koja je pogodna za korištenje, kako u analognoj tako i u digitalnoj fotografiji, a da pritom ne dolazi do smanjenja kvalitete fotografije. Usporediti će se fotografije dobivene analognim i digitalnim fotoaparatom. Za potrebe analognog snimanja koristiti će se filmovi različite osjetljivosti u rasponu od 100 ISO do 1600 ISO. Isti raspon ISO osjetljivosti namještati će se na digitalnom fotoaparatu sa CCD senzorom. Fotografirati će se isti motivi pod istim svjetlosnim uvjetima kako bi usporedba

bila dosljedna. Analogne fotografije u negativu će se skenirati a zatim u digitalnom obliku usporediti sa digitalnim fotografijama.

Vizualnom procjenom odrediti će se negativne pojave koje se javljaju pri većoj osjetljivosti na svjetlo, te najveća prihvatljiva razina osjetljivosti koja ne utječe negativno na kvalitetu fotografija. Pregledom i obradom literature biti će objašnjeni načini uklanjanja nepoželjnih pojava, te pokazati primjeri gdje se takve pojave koriste u umjetničke svrhe.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. ANALOGNA FOTOGRAFIJA

Fotografija se smatra jednim od većih izuma u povijesti. Fotografija kakvu poznamo danas prošla je dugačak povijesni razvoj. Od kamere obskure – tamne prostorije u kojoj svjetlo što dolazi kroz malu rupicu na prozoru ocrtava na bijelom zidu oblike iz prirode, pa preko daguerotipije i talbotipije – načina zadržavanja slike na papiru, te sve do današnjeg poimanja analognog fotoaparata, fotografi su prvenstveno bili kemičari, a potom umjetnici.

*„Early photographers were more chemists than artists.“*

*Langford's Advanced Photography [3]*

Otkriće fotografije čovjeku je omogućilo da trajno i realno sačuva svoj lik, ali je i dodalo novu dimenziju svakoj vijesti, zbivanju ili događaju opisujući ih stvarno, točno i istinito.

#### 2.1.1. Princip rada analognog fotoaparata

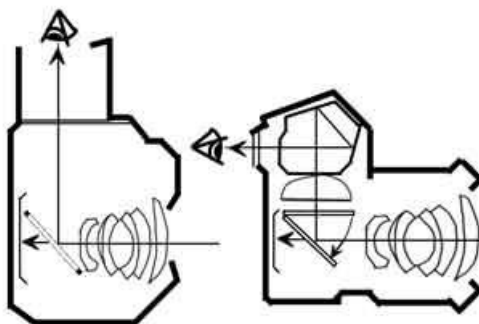
Nastanak fotografije u analognom fotoaparatu možemo opisati pomoću tri različita principa. Prvi je fizikalni, odnosno s područja optike, nauke o svjetlosti, drugi je kemijski te opisuje proces koji se odvija na fotografskom filmu pri kontaktu sa svjetlom, a treći je mehanički proces koji omogućava prolazak svjetlosti kroz tijelo fotoaparata u željenom trenutku. [1]

Prema tome, može se reći da se klasični fotoaparat sastoji od tri glavna dijela: leće koja predstavlja optički dio, filma na kojem se kemijski ocrtava slika, te samog tijela aparata koji predstavlja mehanički dio.

Pravilnom kalibracijom i kombiniranjem tih osnovnih dijelova nastaje jasna i vidljiva fotografija.

Postoji više vrsta fotoaparata, a najčešće se razlikuju prema vrsti tražila te se stoga dijele na: zrcalno refleksne fotoaparate (SLR), na fotoaparate s optičkim tražilom, na dvooke refleksne fotoaparate te na fotoaparate za izravno promatranje. Danas se pretežno koriste SLR fotoaparati i aparati s optičkim tražilom, dok su druga dva modela zastarjela te se uglavnom mogu naći kod kolekcionara i zaljubljenika u analognu fotografiju.

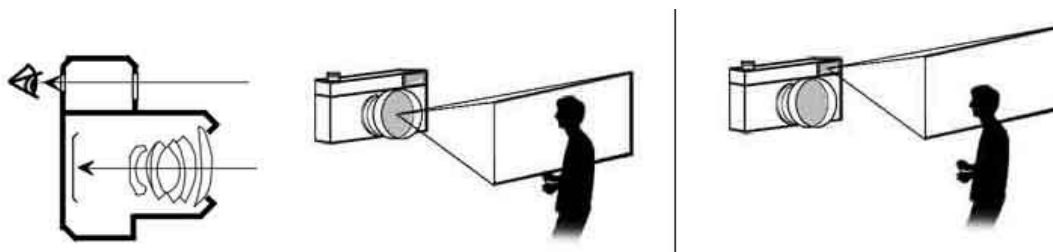
Zrcalno refleksi fotoaparati (SLR - eng. Single Lens Reflex) su aparati sa jednom lećom koji koriste poluautomatsko zrcalo i pentaprizmu ili pentazrcalo za slanje slike u tražilo. Takvi fotoaparati su najpopularniji jer omogućuju fotografu da u tražilu vidi objekt identično kao što će ga dobiti na fotografiji. Budući da gledajući kroz tražilo ovakvih aparata zapravo gledamo kroz objektiv, slika koju vidimo u tražilu odgovara slici koju snimamo. Drugi sustavi prikaza slike u tražilu mogu prikazivati znatno izmjenjenu sliku od onoga što će se dobiti na gotovoj fotografiji. SLR aparati se proizvode za filmove od 135 mm, 120 mm, APS (Advanced Photo System), a koriste se i u digitalnoj fotografiji. U SLR fotoaparatu slika se stvara tako što svjetlost ulazi u fotoaparat kroz objektiv i dolazi do zrcala koje se nalazi u spuštеноm položaju. Pomično zrcalo koje stoji pod kutem od 45 stupnjeva povezuje objektiv i tražilo. Zatvarač je smješten ispred ravnine filma, dok se ekran za ručno izoštravanje nalazi ispod sakupljajuće leće. Iznad sakupljajuće leće se nalazi pentaprizma koja sliku lomi i šalje prema leći tražioca. U trenutku okidanja zrcalo se podiže i tada svjetlo prolazi kroz otvoreni zatvarač i pada direktno na film. [8]



Slika 2.1.: Prikaz dobivanja slike u tražilu kod SLR fotoaparata (slika preuzeta sa <http://www.svijetfotografije.com/hrv/enciklopedija/enciklopedija/fotografski-aparati/>)

Kod fotoaparata sa optičkim tražilom objektiv i tražilo nisu optički povezani. Slika objekta se na film projicira kroz objektiv, dok fotograf gleda objekt kroz tražilo odvojeno od objektivna. Zbog tog pomaka javlja se paralaksa – pogreška do koje dolazi prilikom definiranja kadra jer slika na filmu ne odgovara slici koja se vidi kroz tražilo. Kod snimanja sa velike udaljenosti, ta pogreška je zanemariva, ali dolazi do izražaja pri snimanju iz blizine, npr. snimanje portreta. (Slika 2.2.)

Aparati sa optičkim tražilom proizvode se za sljedeće formate filmova: 110, 126, 135, 120 mm, APS i za digitalnu fotografiju. Međutim, treba naglasiti da se digitalni fotoaparati sa optičkim tražilom ne smatraju aparatima s paralaksom jer se slika može promatrati direktno na LCD ekranu koji pruža realni prikaz. [8]



Slika 2.2.: Prikaz dobivanja slike kod fotoaparata sa optičkim tražilom i pogreška paralakse (slika preuzeta sa <http://www.svijetfotografije.com/hrv/enciklopedija/enciklopedija/fotografski-aparati/>)

### 2.1.2. Film i vrste filmova

Prilikom pritiska okidača na analognom fotoaparatu svjetlo koje se odbija od objekta koji želimo snimiti prolazi kroz otvoreni zatvarač i pada direktno na fotografski film gdje uzrokuje kemijsku reakciju. Do kemijske reakcije između filma i svjetlosti dolazi zbog samog sastava filma koji na sebi nosi sloj tvari osjetljivih na svjetlo. Više o tvarima osjetljivim na svjetlo biti će opisano u poglavlju „Osjetljivost filma“.

Nakon izlaganja filma svjetlosti, na njemu se stvara nevidljiva odnosno latentna slika koja kemijskim procesom razvijanja filma postaje vidljiva zbog djelovanja tekućine koja se naziva razvijač. Tako se dobiva razvijeni i vidljivi film, odnosno negativ koji sada treba kopirati i uvećati na fotografski papir da bi se dobila pozitivna slika koju nazivamo fotografija. Da bi se napravila fotografija iz negativa potrebno je kroz razvijeni film propustiti svjetlo na foto-papir koji je također osjetljiv na svjetlo. Tako nastaje latentna ili skrivena slika na foto-papiru koja postaje vidljiva nakon što se fiksira u za to određenim kemikalijama, opere i osuši. Mjesta na kojima je kroz negativ prošlo više svjetla biti će tamnija, na mjestima gdje je svjetlo djelomično zadržano nastati će sivi tonovi raznih gustoća, a mjesta na kojima svjetlo kroz negativ nije uopće prolazilo ostati će bez tona, odnosno bijela. [1]

Postoji više vrsta filmova koji se dijele po različitim specifikacijama, no glavna je podjela prema spektralnoj osjetljivosti, na filmove u boji i crno-bijele filmove.

Crno-bijeli filmovi se uglavnom sastoje od jednog sloja halogenog srebra osjetljivog na svjetlo. Kada se osvijetljena zrna u sloju razvijaju, halogeno srebro se pretvara u metalično srebro koje blokira svjetlo i pojavljuje se kao crni dio na razvijenom filmu – negativu.

Fotografiranje crno-bijelim filmom zahtijeva malo drugačiji pristup nego fotografiranje filmom u boji jer fotograf dobiva drugačiju sliku nego što ju vidi u stvarnosti pa je potrebno prilagoditi kompoziciju i osvjetljenje takvom načinu fotografiranja.

Filmovi u boji, za razliku od crno-bijelih filmova, sadrže najmanje tri sloja tvari osjetljivih na svjetlo. U tim slojevima nalaze se kristali osjetljivi na različite boje. Najčešće se prvi sloj sastoji od tvari osjetljivih na plavu boju, a zatim ga slijede sloj osjetljiv na zelenu te sloj osjetljiv na crvenu boju. Tijekom razvijanja, halogeno srebro se pretvara u metalično srebro, kao i kod crno-bijelog filma, međutim kod filma u boji se pojavljuju nusproizvodi koji nastaju pri razvijanju jer se spajaju sa određenim kemikalijama koje se nalaze u filmu u boji. Tako u svakom sloju emulzije nastaju boje – žuta se skuplja u sloju osjetljivom na plavo, purpuran u zelenom sloju, dok se plavo zelena skuplja u sloju osjetljivom na crveno. [2], [3]

Nadalje, filmove dijelimo prema slici kakva se dobije nakon razvijanja, a može biti pozitivna (dijapozitiv ili slide film) ili negativna (negativ film).

Filmovi dolaze u različitim veličinama formata, međutim najpoznatiji su 135-milimetarski i srednji format. 135-milimetarski format se još naziva samo 35 mm ili Leica format.

Najrašireniji je u svijetu, a u sadašnjem obliku je predstavljen 1934.g.

Srednji format se uglavnom upotrebljava u studijskim fotoaparatima, a cijenjen je zbog toga što daje plići DoF (engl. *DoF* ili *Depth Of Field* - udaljenost između najbliže i najdalje točke objekta na fotografiji unutar koje je ona oštra). [9]

Razlika između filmova različite osjetljivosti biti će više opisana u poglavlju o osjetljivosti filma, ali bitno je spomenuti da se danas koristi oznaka ISO za obilježavanje osjetljivosti (100, 200, 400, 800 i 1600 ISO) gdje veća brojka označava i veću osjetljivost na svjetlo.

### **2.1.3. Način digitaliziranja filma**

Digitalna tehnologija omogućila je pretvorbu analognih fotografija i filmskih negativa u digitalni oblik. Ta mogućnost uvelike olakšava bavljenje klasičnom fotografijom u ovo digitalno doba. Moguće je skenirati stare fotografije uslikane prije sveopće digitalizacije i sačuvati ih od propadanja, a na taj način ih je moguće i umnožiti.

Za skeniranje fotografija koriste se plošni skeneri, a na tržištu se nalazi veliki izbor različite kvalitete i cijene. To su uređaji nalik malom fotokopirnom stroju, a najčešće se radi o skenerima za skeniranje do A4 formata, dok oni malo skuplji podržavaju i skeniranje do A3 formata. Danas veliki broj plošnih skenera dolazi u kompletu sa ugrađenim adapterom za skeniranje filma, odnosno razvijenog negativa. [4]

Upravo zbog sve veće kvalitete plošnih skenera koji imaju mogućnost skeniranja filmova, klasičnim skenerima za film sve više pada potražnja.

I klasični i plošni skeneri imaju ugrađene sustave koji automatski uklanjaju otiske prstiju, prašinu i mikrovlakna koristeći infracrvenu svjetlost, a podržavaju skeniranje 35 mm filma, uokvirenih dijapozitiva i filmove srednjeg formata, kako u pozitivu, tako i u negativu.

Sa skenerima u paketu dolaze i softveri kao što su Adobe Photoshop Elements ili softver od proizvođača koji omogućava podešavanje raznih parametara kao što su kontrola osvjetljenosti, izoštravanja, zasićenosti itd. [11]

No, neki od programa za skeniranje koji dolaze zajedno sa skenerom su loše napisani, puni grešaka te daju loše rezultate. Stoga se razvilo i malo tržište alternativnog softvera.

Najpopularniji od njih je Hamrick VueScan, upravo zbog niske cijene i visoke kvalitete.

Lasersoft Silverfast spada u prvoklasan softver i može se koristiti za svaki model skenera, od najjednostavnijih do profesionalnih. [4]

Prije skeniranja treba pripaziti i na karakteristike skenera, kao što su rezolucija, dinamički raspon, dubina boja (broj bita po boji), brzina skeniranja itd.

Rezolucija skenera se mjeri u pikselima po inču (eng. *pixels per inch – ppi*) ili u uzorcima po inču (eng. *samples per inch – spi*). U upotrebi se može naći i oznaka dpi (eng. *dots per inch*), odnosno točke po inču, međutim taj se izraz više koristi za označavanje rezolucije kod printera i monitora. Optička rezolucija skenera ovisi o broju piksela u CCD senzoru. Količina detalja koje će skener zabilježiti je određena optičkom rezolucijom. Rezolucija izlaznog proizvoda, tj. skeniranog materijala, ovisi o vrsti skenera. Plošni skeneri mogu skenirati materijal u rezoluciji od 2400 ppi i više, dok klasični skeneri za film daju rezultate u rezoluciji od 1000 do 8000 ppi. Proizvođači označavaju rezoluciju skenera sa dvije brojke, npr. 1200x1200 ppi. Prvi broj označava broj elemenata u nizu koji se nalaze u senzoru, dok drugi broj označava udaljenost na koji je senzor pomaknut da bi mogao očitati sljedeći segment. Ako su u oznaci skenera dva broja različita, npr. 1200x2000, manji broj se uvijek smatra optičkom rezolucijom. [3]

Dinamički raspon skenera označava koliki raspon tonova taj skener može zabilježiti.

Dinamički raspon je raspon između najtamnijeg i najsvjetlijeg dijela slike, a izračunava se preko logaritma omjera između maksimalne svjetlosti koju fotoosjetljivi elementi detektiraju i minimalne svjetlosti (tame) koju fotoosjetljivi elementi detektiraju. Što se skeniranjem može dobiti više sivih nijansi ili boja to je dinamički raspon skenera veći.

Dinamički raspon ovisi i o broju bita po boji, odnosno dubini boje (eng. *bit depth/color depth*). Tako će na primjer 48-bitni skener imati veći dinamički raspon od 24-bitnog skenera. [3]

Broj bita po boji, ili dubina boja, definira broj boja u skeniranom materijalu. Softver pomoću kojeg skener digitalizira materijal nudi nekoliko opcija za postavljanje dubine boja digitaliziranog filma ili slike. Naprimjer, 1-bit (crno-bijelo), 8-bit (*grayscale* sa 256 tonova sive) i 24-bit (prava boja sa 16,7 milijuna tonova). Danas najbolji modeli nude dubinu boja od 48-bitova, ali je izlazni rezultat ugalvnom smanjen na 24-bitu. Određena postavka koja se koristi za skeniranje može utjecati na veličinu skenirane datoteke – 8-bitna slika će nositi manje informacija od 24-bitne slike koja će biti veća. [3]

Brzina skeniranja ovisi o vrsti skenera i važan je parametar prilikom skeniranja velikih količina jer u konačnici utječe na produktivnost. Brzina skeniranja ovisi o dimenzijama filma ili slike i o rezoluciji skenera. Okvirno vrijeme u kojem bi plošni skener skenirao npr. A4 sliku u boji rezolucije 300dpi bi iznosilo oko 14 ili 25 sekundi za rezoluciju 600dpi. Za skeniranje 35milimetarskog filma, plošnom skeneru bi trebalo oko 35-50 sekundi, a klasičnom skeneru za film otprilike 20-50 sekundi. [3]



Slika 2.3.: Prikaz plošnog skenera sa mogućnosti skeniranja filma i skener za film (slike preuzete sa <http://www.hardwarecentral.com/reviews/article.php/3844636/Epson-Perfection-V500-Office-Color-Scanner-Review.htm> i <http://www.pcpres.rs/arhiva/tekst.asp?broj=109&tekstID=5671> )

## 2.2. DIGITALNA FOTOGRAFIJA

Pojavom, razvojem i popularizacijom digitalne fotografije „zamrzavanje trenutka“ postalo je dostupnije nego ikad prije. Fotoparati su postali kompaktni, maleni i jednostavni za uporabu, a tehnologija je dovela do toga da omogućava fotografiranje raznim uređajima u raznim uvjetima pritom dajući vrlo dobre rezultate. Tehnologija se razvija začuđujuće brzo pa danas postoje fotoaparati koji snimaju HD filmove u visokoj rezoluciji ili pak 3D fotoaparate koji snimaju fotografije i filmove koji se mogu gledati na 3D televizijama.

Izumi koji su prethodili pojavi digitalne fotografije, kao što su prijenos radiovalova i frekvencijske modulacije bez kojih ne bi bilo današnjeg radijskog i televizijskog programa, razvijali su se već na samom početku 20.st. Međutim, ideja o zapisivanju slike na digitalni medij javila se tokom Hladnog rata zbog vojnih potreba za špijuniranjem i promatranjem. Sredinom 20.st. američka je vojska u orbitu poslala nekoliko satelita sa klasičnim fotoaparatom s filmom posebno konstruiranim za snimanje iz orbite. Pošto je način na koji su se kapsule sa filmom slale na Zemlju bio vrlo nepouzdan i skup, jer bi skupocjena oprema često sagorijevala u atmosferi, u satelite su ugrađeni prvi skeneri koji su razvijeni film skenirali u orbiti. Datoteka je obradom pretvorena u analogni signal i radijskom vezom poslana na Zemlju. [12]

Tijekom 60-ih godina investiralo se i u razvoj računalne industrije, a kako je potreba za snimanjem bez filma bila sve veća, američka vojska je za potrebe digitalne fotografije počela koristiti optičke senzore CMOS i CCD. 1969. godina može se nazvati godina nastanka digitalne fotografije jer je tada izumljen najbitniji element koji je nedostajao za komercijalni razvoj digitalnih fotoaparata – CCD senzor koji je nizom električnih fotoosjetljivih jedinica, spojenih u redove, mogao zabilježiti sliku i prenijeti je do procesora za obradu slike. Ostali potrebni dijelovi preuzeti su iz klasične fotografije i iz računalne tehnologije. Međutim još je prošlo nekoliko desetljeća dok su se razvili fotoaparati kakvi su poznati danas.

Prvi digitalni fotoaparati razvili su se 80-ih i 90-ih godina prošlog stoljeća, međutim zbog visoke cijene koristili su se pretežito u novinarstvu i profesionalnoj upotrebi. Digitalna



fotografija je revolucionirala način na koji su fotoreporterji dotada obavljali svoj posao, informacija i slika je postala dostupnija i brža bez obzira na udaljenost.

Krajem 90-ih godina daljnjim razvojem, cijene digitalnih fotoaparata počinju padati, a to dovedi do komercijalnog rasta na tržištu digitalne fotografije.

### **2.2.1. Princip rada digitalnog fotoaparata**

Digitalnu sliku možemo definirati kao prikaz dvodimenzionalne slike sastavljene od piksela koji predstavlja najmanju jedinicu od koje je slika sastavljena.

U informatičkom smislu, digitalna slika je skupina brojeva pohranjena na odgovarajući medij što znači da se matematičkim operacijama mogu vrlo brzo i jednostavno mijenjati vrijednosti tih brojeva.

Sustav brojeva koji se koriste za dobivanje digitalne slike zove se binarni sustav a sastoji se od nula i jedinica. Takav sustav pruža niz mogućnosti za obradu digitalne slike, ali je nužno pronaći odgovarajuće matematičke operacije koje će izvršiti računalo. [4] [13]

Upravo iz ovog opisa vidljiva je osnovna razlika između analogne i digitalne fotografije. U klasičnoj fotografiji slika se dobija kemijskim promjenama koje nastaju pod utjecajem svjetla, a obrada slike vrši se kemikalijama i kemijskim procesima tako da se mijenjaju supstance koje tvore sliku, dok se kod digitalne fotografije slika stabilizira matematičkim operacijama uz pomoć algoritama koje izvode elektroničke komponente. U oba slučaja slika nastaje zahvaljujući fotoelektričnom efektu. Razlika se očituje u fazi nastanka slike u tome što je kod klasične fotografije taj efekt ireverzibilan dok je kod digitalne on reverzibilan, odnosno isti foto osjetljivi medij se može koristiti mnogo puta. [13]

Princip rada digitalnog fotoaparata ne razlikuje se previše od principa na koji radi klasični fotoaparati. Glavna razlika je ta da digitalni fotoaparati ne koriste film, već u sebi sadrži

optički senzor. Osim toga, svi ostali dijelovi su uglavnom isti ili slični – optičko tražilo, leća, bljeskalica, blenda itd.

Kao i kod klasičnih aparata, i digitalni se dijele prema vrsti tražila, a najzastupljeniji su kompaktni digitalni fotoaparati koji koriste optičko tražilo i/ili LCD ekran smješten na stražnjoj strani aparata, te SLR aparati sa sustavom ogledala i prizme.

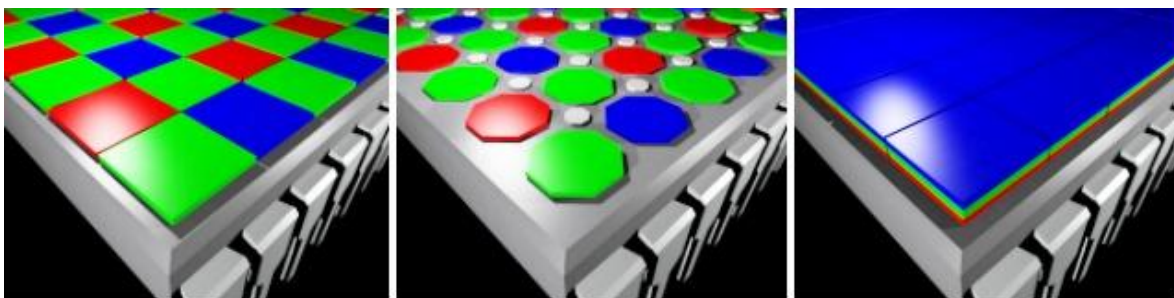
Digitalna slika u fotoaparatu nastaje kada svjetlost prolazi kroz leće fotoaparata, koje lome svjetlost i tako je prilagođavaju senzoru koji će zabilježiti sliku. Postoje dvije glavne vrste senzora, CCD i CMOS, koje različito obrađuju svjetlosne podatke, međutim zajedničko im je da imaju fotosenzitivnu površinu, fotoćeliju, koja se prije ekspozicije nabije elektronima. Za vrijeme ekspozicije, kada svjetlost osvjetli senzor, elektroni se ovisno o svjetlosti rasporede po ćelijama. Da bi nastala slika u boji fotosenzitivna površina senzora je prekrivena filterima crvene, zelene i plave boje, odnosno RGB filterom (eng. *red, green, blue*). ADC procesor (eng. *analogue to digital converter*) pretvara elektronski zapis u datoteku koji zovemo digitalna slika. [2]

### **2.2.2. Vrste senzora**

Najzastupljenije vrste senzora su CCD i CMOS, premda postoje i alternativni senzori kao što su Foveon senzor baziran na CMOS tehnologiji te SuperCCD baziran na CCD tehnologiji. [2]

Digitalni SLR fotoaparat Sigma SD9, predstavljen 2002. godine, je prvi fotoaparat koji je koristio Foveon senzor, a konstruiran je tako da oponaša film – svaki piksel ima RGB filter, kao što film ima 3 sloja osjetljiva na pojedinu boju, a to rezultira ljepšim bojama na fotografiji.

Fujifilm je 1999. razvio SuperCCD senzor kojeg karakterizira prošireni dinamički raspon. Senzor ima dvije veličine piksela – manji R-piksel za svjetlinu i veći S-piksel s bayer mozaikom za boju. [3], [15]



Slika 2.4.: Bayer mozaik (CCD i CMOS), SuperCCD, Foveon (slika preuzeta sa <http://www.fotografija.hr/ccd-cmos-foveon-super-ccd/905> )

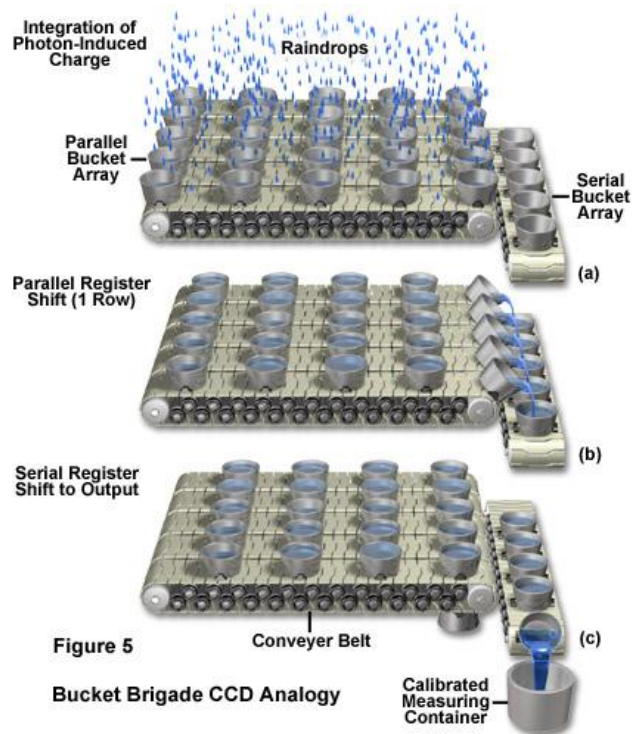
CCD senzor (eng. *Charged – Couple Device*) je javnosti predstavljen 1969. godine, a patentirali su ga Willard Boyle i George Smith.

CCD senzor sastavljen je od nekoliko stotina tisuća foto-osjetljivih ćelija, odnosno piksela, koji bilježe jačinu svjetla koja prođe kroz otvor zaslona i padne na senzor, te tu vrijednost pretvaraju u električni naboj. Jačina tog naboja izravno ovisi o jačini svjetla koje ta ćelija primi. Pretvaranje svjetlosti u električni naboj naziva se fotoelektrični efekt. Naboj koji se pritom stvori čuva se u kondenzatoru svakog piksela. U tome trenutku slika je još uvijek u analognom obliku jer količina izbijenih elektrona odgovara količini svjetlosti koja je pala na piksel. Kontrolna elektronika zatim pokrene „pretakanje“ naboja s jedne fotoćelije na drugu dok se naboj ne prenese do zadnje fotoćelije u istom redu. Taj naponski impuls se uzorkuje, digitalizira i sprema u memoriju. Proces se ponavlja za svaki red fotoćelija, odnosno piksela i kada se svi obrade i pohrane u memoriju, stvara se digitalna slika koja je spremna za obradu. [3]

Tomislav Ciceli, magistar tehničkih znanosti na Geodetskom fakultetu u Zagrebu ovaj princip je vrlo jednostavno objasnio:

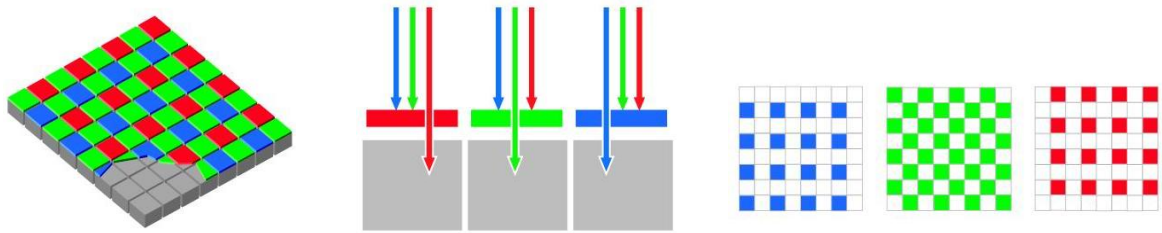
„ Jedna, vrlo često korištena analogija kod opisivanja rada CCD senzora je sljedeća: zamislimo polje malih kanti za vodu. Te kante su poredane po redcima i stupcima. One predstavljaju fotodetektora, a kiša fotona koja pada po njima ih puni. Neke se napune malo više, neke malo manje. Kada završi prikupljanje kišnice, kantice se red po red transportiraju pomičnim mehanizmom, i slijevaju u dio koji za svaku kanticu pamti gdje se ona nalazila i koja količina kišnice, tj. fotona se skupila u njoj. Mali odmak od polja sa kanticama je taj

da su neki fotodetektori osjetljivi samo na zelenu, neki samo na plavu, a neki samo na crvenu boju.” Ovaj pojednostavljeni opis preuzet je s Nikonove službene stranice kao i grafički prikaz. [14]



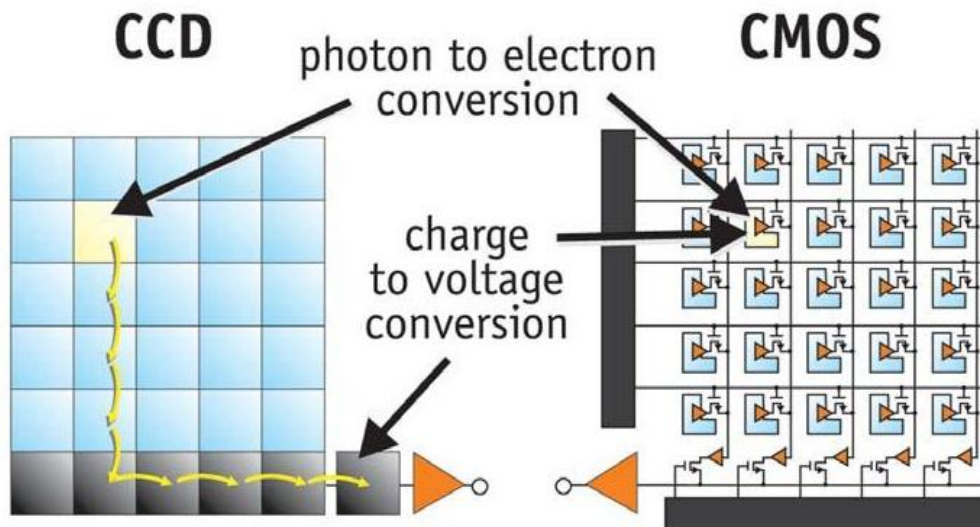
Slika 2.5.: Pojednostavljen prikaz “pretakanja” naboja u fotoćelijama (slika preuzeta sa <http://www.microscopyu.com/articles/digitalimaging/ccdintro.html> )

Da senzor nije prekriven filterom u boji, izvorno bi se dobila crno – bijela slika. Međutim na površini senzora nalazi se RGB filter zbog kojeg dobivamo sliku u boji. Filteri su izrađeni tako da je najzastupljenija zelena boja jer je ljudsko oko najosjetljivije na područje spektra u kojem su zelena i žuta boja, pa se na senzoru nalazi duplo više filtera zelene boje, nego crvene i plave. Filter koji funkcionira na tom principa naziva se Bayer filter. [3] Struktura samog CCD senzora biti će detaljnije objašnjena u poglavlju 2.3.5. Osjetljivost CCD senzora.



Slika 2.6.: Bayer filter (slika preuzeta sa <http://photo.net/sigma/sd9> )

CMOS senzor (eng. *Complimentary Metal Oxide Semiconductor*), kao i CCD, koristi fotoelektrični efekt za pretvaranje svjetlosti u električni naboj. Također, kao i CCD, CMOS je sastavljen od fotoćelija koje su prekrivene RGB filterom. Međutim glavna razlika je u tome što CMOS senzor za svaku fotoćeliju (piksel) ima posebno ugrađeno pojačalo. To omogućuje da se podaci sa svih piksela obrade u istom trenutku. Osim što je zbog takvog načina procesiranja puno brži od CCD senzora, CMOS je i jeftiniji za izradu. CCD senzori su precizniji u detekciji svjetla i trenutno se smatraju kvalitetnijima od CMOS-a, međutim predviđa se da će u budućnosti CMOS senzori zbog brzine, prihvatljivije cijene i manje potrošnje energije pri radu premašiti CCD senzore.



Slika 2.7.: Razlika u načinu na koji se elektroni raspoređuju u CCD i CMOS senzoru (slika preuzeta sa [http://meroli.web.cern.ch/meroli/lecture\\_cmos\\_vs\\_ccd\\_pixel\\_sensor.html](http://meroli.web.cern.ch/meroli/lecture_cmos_vs_ccd_pixel_sensor.html) )

## 2.3. OSJETLJIVOST NA SVJETLO

### 2.3.1. Osjetljivost na svjetlo – ISO osjetljivost

ISO osjetljivost je pojam u fotografiji koji označava na koliku količinu svjetla je osjetljiv film u analognom fotoaparatu, odnosno senzor u digitalnom fotoaparatu, a ta količina mora biti dovoljna za pravilno eksponiranje filma.

Postoji više oznaka koje su u prošlosti označavale mjeru za osjetljivost filma, međutim sa pojavom globalizacije došla je i potreba za uvođenjem standardizirane oznake koja bi bila razumljiva svugdje u svijetu. Međunarodna organizacija za standardizaciju (eng. *International Organization for Standardization*) je uvela oznaku ISO, koja je izvedena iz grčke riječi „isos“ što znači jednak. Organizacija se odlučila za tu oznaku, jer bi akronim za organizaciju (eng. *International Organization for Standardization*) na različitim jezicima bio drugačiji – npr. na engleskom bi bila IOS, na francuskom OIN (fr. *Organisation Internationale de Normalisation*), na hrvatskom MOS itd.

Prije uvođenja standardizirane oznake, različite industrijski razvijene zemlje imale su vlastite oznake za osjetljivost, kao i posebne sustave za izražavanje osjetljivosti filma. U Njemačkoj se upotrebljavala DIN norma, a u SAD-u američki ASA stupnjevi te su ta dva sustava bila najpoznatija. U Engleskoj se koristio BSI indeks, dok se u Sovjetskom Savezu upotrebljavao GOS sustav. Domaći EFKE film imao je oznaku izraženu u DIN stupnjevima.

Ti sustavi razlikovali su se po načinu na koji se računa dužina ekspozicije u ovisnosti o broju koji označava povećanje osjetljivosti. Tako je kod DIN sustava (15, 18, 21, 24...), za svaka 3 stupnja bilo potrebno namjestiti dvostruko kraću ekspoziciju na fotoaparatu. Kod ASA stupnjeva (100, 200, 400, 800...) dvostruka označena vrijednost odgovarala bi dvostruko kraćoj ekspoziciji, dok je kod GOS stupnjeva oznaka bila dvostruko veća od ASA.

Tablica 2.1.: Prikaz različitih sustava za označavanje osjetljivosti filma u ovisnosti o ekspoziciji  
( izvor tablice [1] )

<b>DIN</b>	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
<b>ASA</b>	1.5	3	6	12	24	50	100	200	400	800
<b>GOS</b>	3	6	12	24	48	100	200	400	800	1600
<b>EKSP(sek.)</b>	1	2	4	8	15	30	60	125	250	500

Kako u analognoj, tako i u digitalnoj fotografiji vrijedi pravilo da što je oznaka, odnosno broj osjetljivosti veći to je i sama osjetljivost filma ili senzora veća. Dakle, što je broj veći to znači da je medij više osjetljiv na svjetlo, a što je broj manji medij je manje osjetljiv. Takav princip su upotrebljavali i stari sustavi, pa ako za film od 18° DIN treba 1/30 sekunde, za film od 21° DIN treba podesiti ekspoziciju na 1/60 sekunde. Slično je i sa ASA i GOS stupnjevima gdje svaka dvostruko veća brojka označene osjetljivosti podrazumijeva i dvostruko kraću ekspoziciju. Npr, ako se koristi film od 400 ASA uz ekspoziciju 1/30, uz film od 800 ASA koristiti će se ekspozicija 1/60. To znači da je film od 400 ASA duplo osjetljiviji od filma od 200 ASA, a čak četiri puta osjetljiviji od filma od 100 ASA. Film od 21° DIN jednako je osjetljiv kao i film od 100 ASA ili 200 GOS-a (kao što je vidljivo iz tablice1), pa bi za isti motiv i sa istom brojkom zaslona ekspozicija bila jednaka. Nakon uvođenja standardizirane ISO oznake ispravno pisanje traži da se navedu oba broja izvedena iz ASA i DIN sustava, pa bi tako trebalo pisati ISO 100/21. [1]

Dok se u analognoj fotografiji osjetljivost određuje odabirom filma različite osjetljivosti, u digitalnoj fotografiji se osjetljivost određuje na samom fotoaparatu. Kvaliteta raspona osjetljivosti kao i sama mogućnost odabira osjetljivosti, ovisi o kvaliteti samog fotoaparata. Kompaktni fotoaparati nemaju mogućnost namještanja osjetljivosti od strane korisnika već su programirani da se automatski prilagođavaju svjetlosnim uvjetima. Slabije izvedbe aparata često naginju pojavi digitalnog šuma u lošim svjetlosnim uvjetima, pa se takvi fotoaparati koriste za zabavu i u privatne svrhe, gdje je niža cijena fotoaparata važnija od kvalitete.

Kvalitetniji digitalni fotoaparati odlikuju se širim rasponom osjetljivosti od onoga u klasičnoj fotografiji: taj raspon se kreće između 50 i 6400 ISO, a kod novijih fotoaparata je i veći.

S obzirom na smanjenje korisnika koji još koriste analogne fotoaparate i filmove, tako je i izbor filmova na tržištu sve manji i teže je do njih doći. Najčešći filmovi koji se mogu naći na hrvatskom tržištu su od 200 i 400 ISO jer se pod time podrazumijeva normalna osjetljivost koja se i najčešće upotrebljava, dok se za pronalazak filmova od 800 i 1600 ISO ipak treba potruditi. U tom pogledu izbor raspona osjetljivosti u digitalnoj fotografiji je neusporedivo veći, jer ovisno o modelu i kvaliteti fotoaparata osjetljivost može biti vrlo visoka, a podešava se na samom aparatu.

Kod većine digitalnih fotoaparata bazična vrijednost osjetljivosti senzora je ISO100, što se smatra idealnom vrijednosti pri normalnim svjetlosnim uvjetima. Veće vrijednosti osjetljivosti dobivaju se pojačavanjem signala. Osjetljivost elektroničkog senzora odgovara osjetljivosti fotografskog filma, pa se pri istim svjetlosnim uvjetima i sa istim postavkama na analognom i digitalnom fotoaparatu dobije jednako eksponirana fotografija.

Međutim, povećavanje osjetljivosti sa sobom donosi i neke nedostatke. Kod filmova visoke osjetljivosti dolazi do pojave zrnatosti, dok se u digitalnoj fotografiji javlja šum.

Što je film osjetljiviji to će zrnatost biti veća, odnosno zrno izraženije, a takva fotografija će biti kontrasnija i davati siromašniju skalu nijansi što kvari oštrinu slike kod većih uvećanja. Povećanjem osjetljivosti na digitalnom fotoaparatu, javiti će se šum na fotografiji koji je definiran kao neželjeni nasumični signal, a javlja se zbog nedostatka količine svjetla koja pada na senzor.

Dok se zrnatost u analognoj fotografiji očituje neoštrinom i tvrđim izgledom fotografije, šum u digitalnoj fotografiji sastoji se od mnogo sitnih plavih, zelenih i crvenih točkica gusto poredanih u nakupine što daje fotografiji vrlo neprivlačan izgled. Zbog toga se pojava šuma, za razliku od pojave zrnatosti, rjeđe smatra pozitivnom pojavom i teže se uklapa u fotografiju, dok zrnatost na filmu može pridonijeti ugođaju fotografije u određenim situacijama. [1] [2] [3] [16] [17] [18] [19]



### 2.3.2. Osjetljivost filma

Osnova klasične fotografije su svojstva nekih tvari osjetljivih na svjetlo. Na površini nerazvijenog filma za vrijeme danjeg svjetla može se vidjeti zelenkast mutan sloj. Taj sloj je osjetljiv na svjetlo a ima važno svojstvo da zadrži sliku koja nastaje kada svjetlo prođe kroz otvor zaslona. Kada svjetlo padne na taj sloj, dolazi do promjene – stvara se latentna (nevidljiva) slika, koja postaje vidljiva nakon razvijanja filma u razvijaju. Taj sloj se naziva emulzijski sloj, a tvari koje ga čine osjetljivim i od kojih je građen su srebro, halogen, želatina i emulzija. [1]

Srebro samo po sebi nije osjetljivo na svjetlo nego se mora usitniti, rastopiti i nitrirati u kiselinama koje kad ispare ostavljaju bijele kristale poput soli. To je srebrni nitrat koji će postati osjetljiv kada se spoji s još jednom organskom tvari – halogenom.

Halogen u vezi sa srebrnim nitratom stvara nove kemijske spojeve, a halogeni koji imaju to svojstvo spajanja sa srebrnim nitratom su klor, brom i jod. Spojevi koji nastaju su osjetljivi na svjetlo a to su halogeno bromovo, klorbromovo, klorovo i jodno srebro. Ti spojevi se moraju vezati u nekom mediju da bi se mogli nanijeti na film. Tome služi želatina – koloidna, organska prozirna tvar bez boje i mirisa. Želatina namijenjena za izradu filma mora biti elastična, prozirna te se mora moći nanijeti u vrlo tankom sloju. Sastav želatine mora biti takav da se kristali halogenog srebra u njoj mogu rasporediti a da se pritom se spajaju u grudice te mora u sebi zadržavati razvijena srebrna zrnca i ne dopuštati da se izluče.

Da bi se dobio emulzijski sloj koji se nanosi na površinu filma, potrebno je od ranije navedenih sastojaka napraviti emulziju. Emulzija za filmove je gusta tekućina koja se dobiva tako što se želatina usitni i otapa u mlakoj destiliranoj vodi. Zatim se dodaje bromkalij i polako se ulijeva otopina srebrna nitrata, a na kraju se sve dobro promiješa. Srebrni nitrat se dodaje u potpunoj tami, jer njegovom reakcijom sa bromkalijem nastaje bromovo srebro osjetljivo na svjetlo, dok se ostatak postupka dodavanja srebrna nitrata obavlja uz prigušeno svjetlo. Takva emulzija se nakon hlađenja reže u sitne trake i ispire u destiliranoj vodi da se ukloni višak kalijevo nitrata i bromkalija. [1]

I sada se dolazi do najvažnijeg dijela koji se tiče ovog poglavlja – dobivanje filmova različite osjetljivosti. Ranije opisanim postupkom se dobiva osnovna emulzija. Ona je još niskoosjetljiva, sitnozrnata i osjetljiva samo na plavi dio spektra. Takva emulzija se podrgrijava nakon što su u nju dodani razni dodaci, pročišćava se kroz fina sita te se u toplom tekućem stanju strojno nanosi na film. Na filmu se emulzija hladi i suši te se tako skruti.

Procedura nastanka i nanošenja emulzije i nije baš jednostavan proces, a posebno je kompliciran za emulzije koje se rade za visokoosjetljive filmove. U emulziju se dodaju tvari za povišenje osjetljivosti na boje, zatim dodaci za stabilizaciju, vrši se postupak kojim se spriječava spajanje kristala te se spajaju dodaci za otvrdnjivanje. Nakon toga slijedi postupak dozrijevanja i nadozrijevanja da bi film dobio određenu osjetljivost na svjetlo. Emulzijski slojevi se sastoje od dva ili tri srebrna halogenida, ovisno o potrebnoj osjetljivosti filma. Bromosrebrna emulzija se dobije kada se spoje srebrni nitrat i bromkalij, a koristi se za filmove visoke osjetljivosti. Klorbromna emulzija nastaje spajanjem srebrna nitrata, bromkalija i klornatrija, a služi za srednjeosjetljive filmove za reprodukcije i dijapozitive. Za nisko i vrlo nisko osjetljive filmove koriste se klornosrebrna i jodnosrebrna emulzija. Klornosrebrna nastaje spajanjem srebrna nitrata i klornatrija, a jodnosrebrna emulzija spajanjem srebrna nitrata i jodkalija. [1]

Pregledom starije literature vidljivo je da je u počecima proizvodnje filmova osjetljivost ovisila o slojevitosti emulzije na filmu. Filmovi s dvostrukim slojem emulzije imali su dva sloja emulzije prelevenih jedan preko drugog, od kojeg je jedan bio više osjetljiv i imao je grublje zrno, dok je drugi bio manje osjetljiv i imao sitnije zrno. Takvi filmovi su imali veliki opseg ekspozicije i dugačku skalu gradacije te su bili veoma osjetljivi. Za razliku od takvih filmova, postojali su i filmovi s jednim slojem emulzije koji nisu bili jako osjetljivi i nisu imali veliki opseg ekspozicije, ali je njihovo zrno bilo sitnije. [7]

Danas više ne može uspoređivati filmove na način da li su nosioci jednog ili dva sloja emulzije, jer je industrija proizvodnje filmova napredovala te se danas i visokoosjetljivi, kao i niskoosjetljivi filmovi sastoje od više slojeva emulzije. Filmovi u boji se sastoje od najmanje 3 sloja emulzije, dok visoko kvalitetni filmovi mogu imati i do 12 slojeva emulzije. [3]

### **2.3.3. Primjena filmova različite osjetljivosti u različitim područjima fotografije**

Kao što je objašnjeno u uvodu poglavlja, postoje filmovi različitih osjetljivosti. Međutim, postoje pravila po kojima se filmovi određene osjetljivosti koriste u određenim područjima fotografije.

Na filmu iste osjetljivosti ne mogu se jednako dobro snimati portreti, tehničke snimke i izrađivati reprodukcije. Za svaku vrstu snimanja postoje materijali na kojima se postižu optimalni rezultati.

Filmovi najniže osjetljivosti koriste se za crno – bijele reprodukcije crteža, pisama i predložaka u kojima nema polutonova. Također, upotrebljavaju se i za dijapozitive i kino-reklame. Niskoosjetljivi filmovi upotrebljavaju se za snimanje vanjskih i tehničkih fotografija. Imaju vrlo sitno zrno, veliku mogućnost razdvajanja te su na takvim filmovima vidljivi i najsitniji detalji što ih čini pogodnima za velika povećanja s negativa.

Filmovi koji imaju srednju ili normalnu osjetljivost namijenjeni su snimanju svih motiva na danjem i umjetnom svjetlu. Takvi filmovi još uvijek imaju sitno zrno i normalnu gradaciju, pa se s negativa mogu izrađivati i velika povećanja. Filmovi visoke osjetljivosti koriste se za snimanje pri slabim svjetlosnim uvjetima, pri snimanju sportskih aktivnosti i u svim prilikama gdje je potrebna kratka ekspozicija. Visokoosjetljivi filmovi se odlikuju krupnijim zrnem, te na njima ne dolaze do izražaja sitniji detalji.

Povišenje osjetljivosti pojedinog filma može se postići na nekoliko načina, međutim to se u današnje vrijeme vrlo rijetko radi, jer je jednostavnije koristiti osjetljiviji film ili razvijač koji iz filma izvuče i najslabiji trag svjetla. [1]

Ovakva pravila nužna su pri fotografiranju tehnički ispravnih i profesionalnih fotografija, međutim kako umjetnost ne znači uvijek slijepo poštivanje pravila, tako se i u umjetničkoj fotografiji može malo udaljiti od tehničkih pravila. Znatost koja se pojavljuje pri snimanju sa visokoosjetljivim filmovima uglavnom se smatra nepoželjnom pojavom. Premda se takvi filmovi koriste kada uvjeti diktiraju njihovu primjenu, zrno u fotografiji može pridonijeti

ugodaju fotografije. Fotografije sa izraženim zrnom često su grublje strukture, a time se postiže ugođaj neposrednosti i autentičnosti.



Slika 2.8.: Portret snimljen analognim fotoaparatom Canon TX i filmom FujiFilm ISO 400



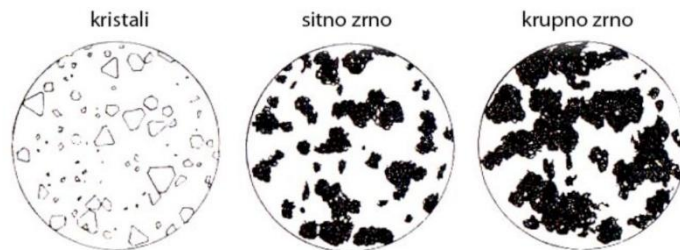
Slika 2.9.: Portret snimljen analognim fotoaparatom Canon TX i filmom Kodak ISO 1600

### 2.3.4. Pojava zrnatosti u analognoj fotografiji

Korištenjem filmova veće osjetljivosti detalji na fotografiji postaju tvrđi i slabije vidljivi pa za takvu fotografiju kažemo da ima izraženu zrnatost. Zrnatost je pojava nakupljanja kristala halogenog srebra u nepravilne oblike prilikom razvijanja filma.

Zrno u negativu je dio emulzijskog sloja, a sastoji se od mnogo sitnih čestica srebra. Kada film prolazi kroz proces razvijanja, kristali halogenog srebra prelaze u sitna zrnca prvobitnog metaličnog srebra. Koliko su ta zrnca manja i gušća, toliko će negativ izgledati puniji, a oštrina će biti veća. Sitno zrno se vidi samo pod mikroskopom, dok veliko zrno koje nastaje spajanjem desetaka sitnih zrnaca možemo vidjeti i golim okom. Zrnatost je najuočljivija u srednjim tonovima i na glatkim plohama.

Zrnatost je uglavnom svojstvo emulzije, a stupanj zrnatosti ovisi o više faktora. Što je emulzijski sloj na filmu tanji, a osjetljivost niža, to će zrno u negativu biti sitnije. Nadalje, previše eksponirana snimka će rezultirati zrnatijim negativom od normalno eksponirane snimke. Sitnozrnati razvijач ne dopušta spajanje zrnaca kao što je to s rapidnim razvijачima s alkalijama i toplijim kupkama. Što je gradacija foto-papira tvrđa, to se zrno iz negativa više ističe, dok proziran negativ pokazuje jače zrno od normalnog. Prilikom snimanje na malim formatima, bolje je koristiti film niže osjetljivosti. Iako će u tom slučaju ekspozicija biti nešto duža, zrno neće biti previše izraženo te će biti prihvatljivo pri povećavanju većih formata. Također, neće biti potrebno ni dugotrajno retuširanje uz uvjet da se snimke razvijaju u pouzdanom sitnozrnatom razvijачu. [1]



Slika 2.10.: Prikaz kristala i sitnog i krupnog zrna u fotografskom filmu (izvor: [1])

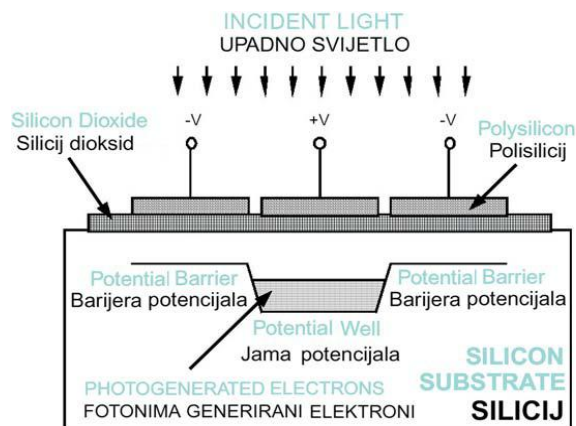
### 2.3.5. Osjetljivost CCD senzora

Optički senzor se smatra srcem digitalnog fotoaparata. Senzor je optički čip veličine ljudskog nokta te se sastoji od milijuna fotoosjetljivih elemenata, fotodioda. CCD senzor je izrađen na bazi silicija, a sastoji se od guste mreže takvih fotodioda koje pretvaraju svjetlost, odnosno fotone dospjele na senzor u električni naboj.

Međutim, optički senzori nisu savršeni uređaji za zabilježavanje i pohranu slike, te zbog toga prilikom njihovog rada dolazi do određenih grešaka i neželjenih posljedica na fotografiji, kao što su razne vrste šuma, prelijevanja signala, pojava *moiré*-a te problemi uzrokovani prašinom na površini senzora. [3]

Osnovni princip nastajanja digitalne slike na CCD senzoru objašnjen je u poglavlju 2.2.2. Vrste senzora, dok je struktura CCD senzora tehnički opisana u magistarskom radu „Primjena digitalne kamere u terestričkoj fotogrametriji“ T. Cicelija te grafički prikazana na slici.

„Na poluvodičkoj bazi od silicija nalazi se tanak sloj silicij dioksida koji služi kao izolator. Na tom se sloju nalaze vodljive površine polusilicija koje ako im se dovede električni potencijal djeluju kao elektrode koje formiraju elektrostatski potencijal unutar poluvodiča. Elektroda koja ima pozitivan potencijal okružena je elektrodama negativnog potencijala. Ispod tih elektroda unutar poluvodiča formiraju se zone različitog potencijala. Tim zonama definirana je *jama potencijala*, područje u kojem se skupljaju izbijeni elektroni.“ [6]








Slika 2.11.: Presjek strukture CCD senzora (izvor slike: [6])

Kvaliteta senzora ovisi o rezoluciji i dimenzijama senzora a usko je povezana sa dinamičkim rasponom senzora o kojemu ovisi količina šuma i izbjegavanje neželjenih pojava na fotografiji te je zbog toga važno objasniti te karakteristike senzora.

**Rezolucija senzora** ovisi o broju fotoosjetljivih elemenata, tj. piksela koji su ugrađeni u senzor. Međutim, za kvalitetno određivanje kvalitete senzora treba uzeti u obzir ne samo broj piksela, nego i veličinu senzora te veličinu najmanjeg fotoosjetljivog elementa. Broj fotoosjetljivih elemenata koji se navodi u specifikacijama uređaja predstavlja ukupan broj piksela koji se nalaze na senzoru, premda postoji razlika između ukupnog i efektivnog iskorištenog broja piksela. Uz rub senzora se nalaze pikseli koji su zaštićeni od upada svjetla koji služe za ublažavanje šuma te ne sudjeluju u stvaranju slike. [6]

Sljedeća vrlo važna karakteristika o kojoj ovisi kvaliteta senzora su **dimenzije senzora**. Veća površina senzora podrazumijeva i veću površinu na koju će objektiv projicirati sliku, a to rezultira kvalitetnijom slikom. Kod malih senzora koji se nalaze u kompaktnim fotoaparata dolazi do povećanog šuma, smanjenog dinamičkog raspona i smanjene osjetljivosti. Osim toga, oni imaju i problem difrakcije koja smanjuje razlučivost pri malim otvorima zaslona. Kod velikih senzora također se javljaju neki problemi sa brojem piksela. Ako je razlučivost objektiva veća od razlučivosti senzora dolazi do pojave *moiré*-a, pojava koja se javlja prilikom snimanja mrežastih uzoraka. Taj nedostatak se ispravlja sa filterom niske propusnosti (eng. *anti-aliasing*) koji uzrokuje blagu zamućenost na fotografiji, a povećava cijenu fotoaparata. Dimenzije senzora u najskupljim izvedbama približavaju se dimenzijama 35-milimetarskog filma. Cijena senzora raste sa povećanjem njegovih dimenzija jer se senzori proizvode na tzv. *waferu* – „keksu“ na kojem se može proizvesti određen broj čipova. Veći senzor znači da manji broj senzora stane na jedan *wafer*, a neki senzori na waferu nisu ispravni pa se moraju eliminirati što poskupljuje proizvodnju jer jedan veliki senzor vrijedi kao više desetaka manjih neispravnih senzora. [15]

Name	Full Frame	APS-C	Four Thirds	1/1.7"	1/2.3"
Area					
Size	36 x 24 mm	23.6 x 15.8 mm	18 x 13.5 mm	7.6 x 5.7 mm	6.1 x 4.6 mm
Relative size	31	13	8.6	1.5	1
Camera type	High End DSLRs	Entry level DSLRs Midrange DSLRs	Olympus DSLRs Large Compacts	High End Compacts	Low-mid Compacts

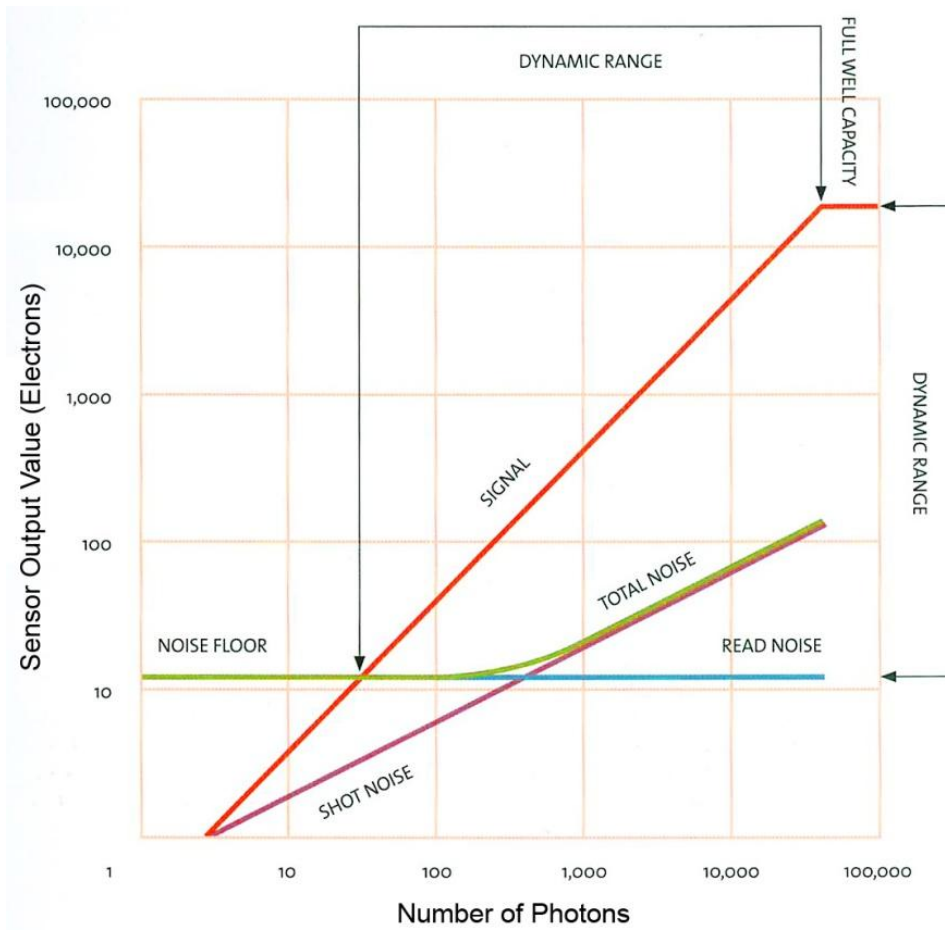
Slika 2.12.: Veličine senzora u različitim modelima digitalnih fotoaparata (slika preuzeta sa <http://blog.lens-to-own.com/2012/01/dslr-sensor-and-how-it-affects-your-decision/>)

**Dinamički raspon senzora** predstavlja sposobnost senzora da detektira što širi raspon tonova, od najtamnijih do najsvjetlijih dijelova slike. Izražava se rasponom u EV (EV – ekpozicijska vrijednost, koristi se kao oznaka intervala kod otvora zaslona, brzine zatvarača ili ISO osjetljivosti). Manji senzori imaju mali dinamički raspon pa fotografije snimljene na kompaktnim fotoaparatom imaju grublje tonske prijelaze i slabije vidljive detalje, a pri slabom svjetlu imaju i problema sa pojavom šuma. Dinamički raspon ovisi o veličini senzora, što znači da će fotografije snimljene sa većim sensorom imati manje spaljenih detalja, ljepše boje i veći dinamički raspon. [15]

U tehničkom smislu, dinamički raspon senzora se definira kao odnos između vrhunca signala (eng. *peak*) i nivoa smetnji sistema, tj. kao odnos između maksimalnog kapaciteta naboja senzora i najnižeg nivoa smetnji elektrona, odnosno šuma.

Dinamički raspon može se uvećati povećanjem maksimalnog kapaciteta naboja senzorskih elemenata. Kapacitet naboja je kod silicija proporcionalan osjetljivoj površini svakog elementa, tako da je kapacitet veći za senzore sa većom osjetljivom površinom. CCD senzori sa većom površinom senzora imaju veći kapacitet naboja, a samim time i veću osjetljivost. [5], [6]





Slika 2.13.: Dinamički raspon senzora i količina šuma (izvor: [5])

### 2.3.6. Pojava šuma u digitalnoj fotografiji

Šum je nepostojeća informacija koja se pojavljuje u digitalnim optičkim sustavima, a možemo ga definirati i kao neželjeni nasumični signal. Ako na senzor ne padne dovoljno svjetla, on će sam iskonstruirati virtualnu sliku na temelju nepotpunih podataka koje je dobio i vlastite tamne buke koju proizvodi. [15]

U senzorima do pojave šuma ne dolazi isključivo zbog nedostatka svjetla, već postoje i drugi izvori zbog kojih se šum pojavljuje.

Jedan od izvora digitalnog šuma je **tamna struja** ili tamni šum (eng. *dark current*). On nastaje kada na pojedinom pikselu postoji signal iako senzor nije osvijetljen. Da bi optički sustav mogao funkcionirati, on mora imati mogućnost da svjetlosna energija koja je dovedena na senzor oslobodi dovoljan broj elektrona da ih elektronički sklop može izmjeriti i pretvoriti u koristan signal. U tom slučaju, toplinska energija je još jedan oblik energije koji može osloboditi elektrone u silikonskom poluvodiču. Elektroni koji su oslobođeni toplinskom energijom su jednaki kao i oni nastali djelovanjem svjetla. Broj termički generiranih elektrona u pikselu je nasumičan i nepredvidiv. Glavno obilježje šuma je zapravo ta nasumična fluktuacija, odnosno nepredvidiva promjena vrijednosti signala s vremenom. Uklanjanje šuma bilo bi puno jednostavnije kada bi njegova vrijednost u određenim uvjetima bila konstantna jer bi se tada šum mogao izmjeriti i matematičkim putem oduzeti od signala.

**Termički šum**, tj. tamna struja je u korelaciji sa temperaturom okoline i u praktičnom radu smanjivanje temperature za 5-10°C smanjuje generiranje tamne struje za dva puta. Kod CCD senzora koji se nalaze u znanstvenim uređajima postoje tehnike hlađenja kojima se uklanja termički šum, kao što su termoelektrično hlađenje i hlađenje tekućim dušikom. U takvim uređajima senzori uglavnom rade na temperaturama od 0-60°C.

Kod digitalnih fotoaparata takav način uklanjanja termičkog šuma nije moguć te proizvođači koriste drugačiji sistem. Na rubovima CCD senzora nalaze se pikseli koji nisu

osjetljivi na svjetlo, odnosno zaštićeni su od dopiranja svjetla do njihove površine. Takvi pikseli imaju zadatak očitavati referentnu vrijednost šuma, tj. oni daju podatak o iznosu tamne struje u vrijeme ekspozicije. Iznos izmjerene tamne struje se zatim oduzima od ukupno izmjerenog signala i u teoriji daje sliku bez šuma. Međutim, takav sistem ne funkcionira u potpunosti, inače bi digitalne slike bile puno kvalitetnije. Problem je u tome što se šum kao funkcija vremena ne mijenja isto za sve piksele, pa ovaj u principu jednostavan sistem uklanja samo dio tamnog šuma.

Bitno je naglasiti da se i ti fotoneaktivni kontrolni pikseli ubrajaju u ukupan broj piksela na senzoru. Međutim, oni ne sudjeluju u stvaranju digitalne slike pa se broj piksela u slici neće poklapati sa brojem piksela koji je naveden u specifikaciji senzora, odnosno digitalnog fotoaparata. To znači da je površina fotoaktivnih piksela uvijek manja od ukupne površine CCD senzora.

Termički šum koji se povećava usporedno sa povišenjem temperature, također u velikoj mjeri ovisi i o kvaliteti početnog materijala od kojeg je izgrađen senzor te o načinu njegove obrade za vrijeme izrade. To proizlazi iz činjenice da su glavni uzrok povećane osjetljivosti na toplinu defekti u kristalnoj rešetci silicija. [6] [18]

Sljedeći izvor šuma koji se javlja u digitalnim optičkim sustavima je **stalni uzorak** (eng. *fixed pattern noise*). Poluvodički kristal od kojeg je izrađen optički senzor ima neravnomjeren raspored nečistoća i nije homogen te zbog toga njegova struktura sadrži određenu neefikasnost, nepreciznost i neodređenost. Zbog toga svi pikseli nisu jednako osjetljivi na svjetlo te tako nastaju područja manje i veće osjetljivosti na istom čipu. Još jedna negativna karakteristika je to što pikseli i razmaci među njima nisu jednake veličine, pa svaki piksel daje malo drugačiji signal za isti ulazni nivo svjetla. Takve varijacije iznose po nekoliko postotaka, uglavnom između 1 i 3 posto.

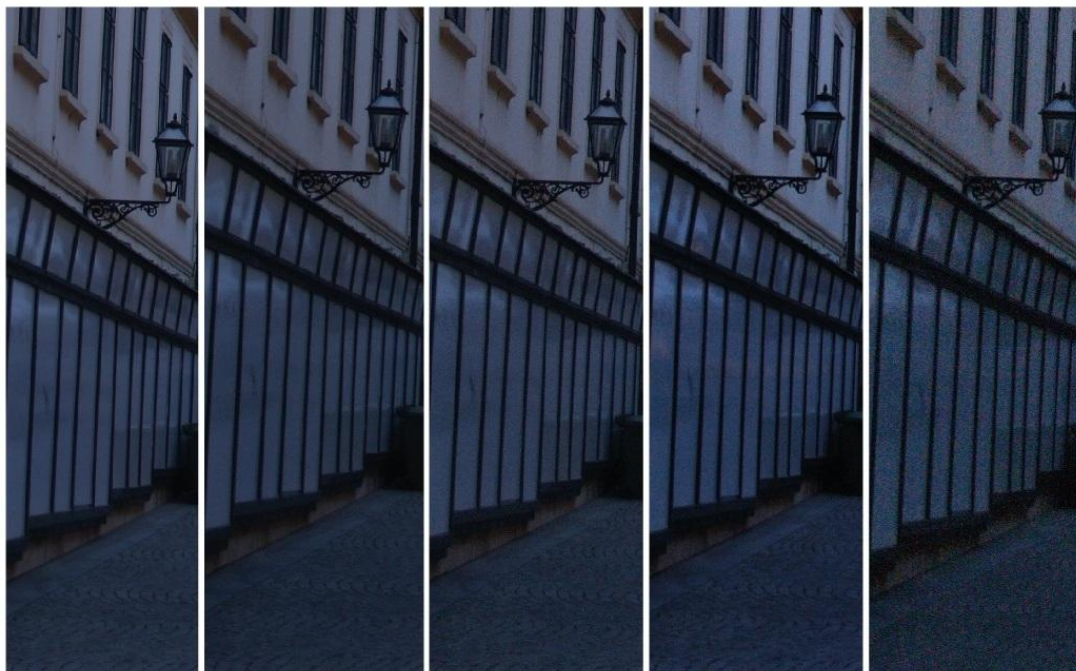
Ako se na čipu nalazi piksel koji je izrazito manje osjetljiv od prosječne osjetljivosti senzora, on će se na slici prikazivati kao crna točkica. Takvi pikseli se nazivaju **mrtvi pikseli** (eng. *dead pixel*). Ako se pak unutar senzora nalazi piksel koji je izrazito osjetljiviji od prosječne osjetljivosti senzora on će se na slici vidjeti kao svijetla točkica. Takvi pikseli

se nazivaju **vrući pikseli** (eng. *hot pixel*). Ovakvi tipovi šuma se javljaju prilikom dugih ekspozicija – što je duža ekspozicija, to će i šum biti veći i izraženiji. Neki uređaji imaju ugrađenu kompenzaciju elektroničkim putem kojom se smanjuje šum, a korisnik može i sam smanjiti šum tako da snimi stalni uzorak pri istim uvjetima koje je koristio i kod fotografiranja te ga kasnije oduzme od slike. Ta vrsta šuma se javlja neovisno o ISO osjetljivosti jer se pojavljuje i prilikom snimanja sa najnižom ISO osjetljivosti. Vrući pikseli nastaju kao posljedica nečistoća u siliciju, te su na mjestima na kojima se pojavljuju pronađeni tragovi metala. [18]



Slika 2.14.: Primjer nastajanja šuma prilikom duge ekpozicije – ekspozicija 20 sec, f 4.3, ISO100

Još jedan od izvora šuma u sensorima je **šum elektronike**, odnosno pojačala. Nakon što se naboj kojeg je čip generirao očita unutar digitalnog fotoaparata, signal je potrebno pojačati na upotrebljivu vrijednost. Pojačavanjem signala povećava se i količina šuma na fotografiji. Senzor ima samo jednu osjetljivost a do povećavanja signala u senzoru dolazi prilikom postavljanja više ISO vrijednosti u izborniku digitalnog fotoaparata. Što se postavi viša ISO vrijednost, signal će biti jači a s njime će i količina šuma biti veća. Međutim, elektronička pojačala ne mogu neograničeno pojačavati signal. Linearnost pojačala je ovisna o količini pojačanja, a kako kod većeg pojačanja dolazi do nelinearnog odziva, tako dolazi i do pomaka reprodukcije boja, te se najčešće javlja veliki pomak prema plavom dijelu spektra. [18]



Slika 2.15.: Prikaz povećavanja količine elektroničkog šuma povišenjem ISO vrijednosti – fotografije redom imaju postavke ISO100, ISO200, ISO400, ISO800, ISO1600

### 2.3.7. Softveri za uklanjanje šuma u digitalnoj fotografiji

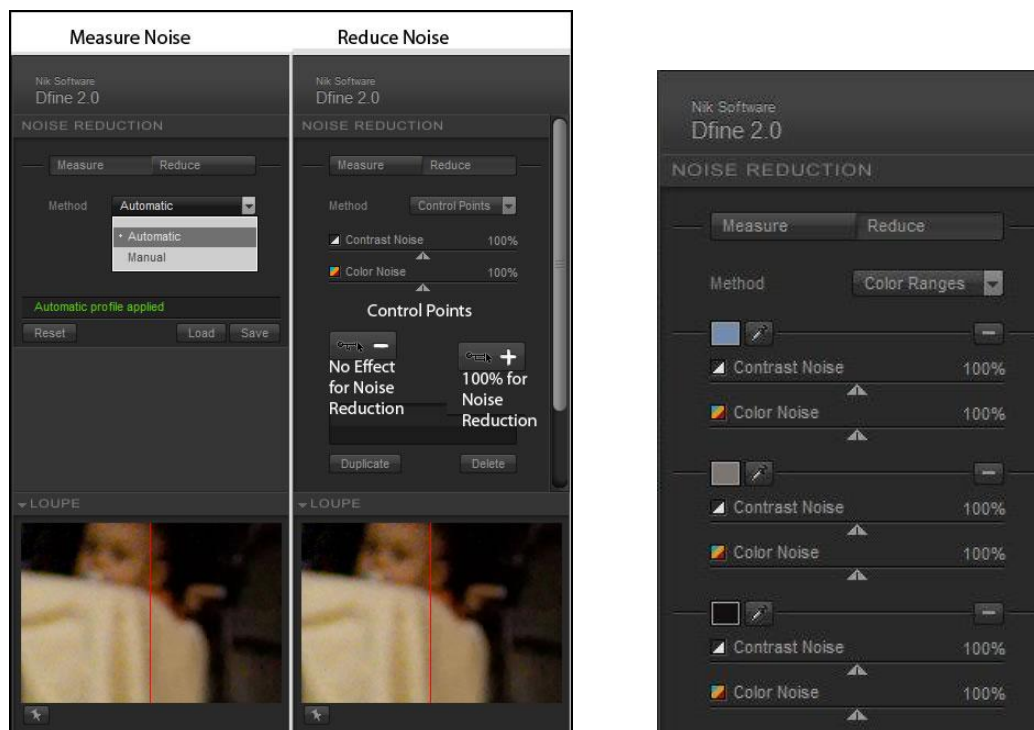
Postoji više načina za umanjivanje šuma koji se pojavljuje na fotografiji. Preporuka je uvijek koristiti što nižu moguću ISO osjetljivost jer to smanjuje razinu pojačavanja dobijenog signala. Također, bitno je ne izlagati fotoaparatus velikim vrućinama jer visoke temperature pogoduju stvaranju neželjenog šuma. Danas veliki broj DSLR fotoaparatus dolazi uz preporuku da je optimalna temperatura za njihovo korištenje između 0° i 40°C. Još jedan savjet za smanjivanje šuma prilikom fotografiranja je snimanje svijetlijih, odnosno preeksponiranih fotografija. Posvjetljivanje snimke u postprodukciji u programima za obradu fotografija izvlači šum iz slike, dok ga potamnjenje smanjuje. Zato je bolje snimiti preeksponiranu sliku pa ju u obradi potamniti i spriječiti pojačanje šuma. To su načini koji pomažu smanjiti šum tokom samog fotografiranja, ali kada je šum izražen na već snimljenoj fotografiji pomoći mogu softveri za uklanjanje šuma. [20]

Većina profesionalnih softvera za obradu fotografija ima po nekoliko funkcija za uklanjanje šuma kao što su npr. opcije *median*, *blur*, *despeckle* itd. Na tržištu se nalaze i specijalizirani samostalni softveri za uklanjanje šuma kao npr. Neat Image, Grain Surgery, Noise Ninja, Nik Software Dfine, Imagenomic Noiseware, Camera Bits Quantum Mechanic i mnogi drugi. Mnogi od tih programa dolaze kao *plug-in* za softvere kao što su Adobe Photoshop, Adobe Lightroom itd.

Softveri za uklanjanje šuma razlikuju dvije vrste šuma: kontrastni šum (eng. *luminance noise*) odnosno koji ovisi o količini svjetla te obojani šum (eng. *color noise*). Kontrastni šum izgleda slično kao filmsko zrno, a smanjivanje takvog šuma dovodi do zamagljivanja detalja. Obojani šum uzrokuje zamrljana bezbojna područja ili točkice neželjene boje.

U programu Nik Software Dfine proces uklanjanja počinje prvo mjerenjem količine šuma, a zatim njegovo smanjenje što je moguće izvesti automatski ili manualno. Izoštrevati se mogu samo dijelovi slike ili cijela slika, a postoji i više vrsta *brusheva* za uklanjanje šuma sa određenih područja. *Background Noise Brush* je napravljen tako da uklanja samo šum koji se pojavljuje u pozadini slike, *Hot Pixels Noise Brush* pomaže pri uklanjanju vrućih

piksela raznih boja koji nastaju na tamnim pozadinama slike pri noćnom snimanju uz duge ekspozicije, dok *Skin Noise Brush* služi za uklanjanje šuma koji se pojavljuje na koži subjekta na slici te smanjuje obojani šum i zaglađuje detalje usklađivanjem tonova. [21]



Slika 2.16.: Prikaz softvera za uklanjanje šuma – mjerenje i smanjivanje šuma (slika preuzeta sa <http://www.perpetualvisions.com/new-articles/nik-dfine2/review-dfine2-.html>)

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom diplomskom radu istražuje se osjetljivost na svjetlo u analognoj i digitalnoj fotografiji. Povećavanje osjetljivosti na svjetlo, odnosno ISO vrijednosti rezultira pojavom zrnatosti na fotografijama snimljenim analognim fotoaparatom te pojavom šuma na fotografijama snimljenim digitalnim fotoaparatom. Cilj eksperimentalnog dijela rada je usporediti pojavu zrnatosti i šuma na analognoj i digitalnoj fotografiji, te istražiti koje su maksimalne ISO vrijednosti pogodne za korištenje, a da se ne ugrozi kvaliteta fotografije.

Za potrebe istraživanja koristio se **analogni fotoaparat** marke **Canon TX** proizveden u Japanu 1974. godine. To je 35-milimetrski SLR (eng. Single Lens Reflex) odnosno zrcalno refleksi fotoaparat sa jednom lećom koji koristi poluautomatsko zrcalo i pentaprizmu ili pentazrcalo za slanje slike u tražilo. Korišteni aparat dolazi sa Canon Lens objektivom fiksne žarišne duljine 55 mm. Fotoaparat ima mogućnost izmjene objektiva pa se po potrebi mogu koristiti širokokutni ili teleobjektivi različitih žarišnih duljina. Fotoaparat ima raspon otvora zaslona od 1.8 do 16, a raspon ekspozicije se kreće od 1 sekunde do 1/500 sekunde. Ovisno o osjetljivosti filma koji se koristi, na fotoaparatu se podešava odgovarajuća osjetljivost koja se nalazi u oznakama 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600. Budući da je filmove od ISO25 i ISO50 danas nemoguće pronaći, takve postavke se mogu zanemariti zbog nekorištenja. Film od 35 mm koji se koristi u fotoaparatu se ručno premotava u desno da bi se mogla snimiti fotografija i da okidač može biti okinut i to se ponavlja nakon svake snimljene fotografije. Nakon što je cijeli film ispucan, film se premotava u lijevo pomoću ručkice za premotavanje filma u zaštićenu rolu filma unutar fotoaparata da bi bio zaštićen od svjetla prilikom vađenja iz aparata. Canon TX ima ugrađeni svjetlomjer pa se smatra poluautomatskim. Prilikom fotografiranja u tražilu se sa desne strane vide šuplji kružić i crtica – kružić predstavlja otvor zaslona i pomiče se okretanjem kruga na objektivu i namještanjem vrijednosti od 1.8-16, a crtica označava ekspoziciju i sama se pomiče ovisno o količini svjetla koju je svjetlomjer očitao. Ekspozicija se može i samostalno odrediti, ali bitno je da se kružić i crtica poklapaju jer to označava ispravnu ekspoziciju i rezultira pravilno eksponiranom fotografijom.





Slika 3.1.: Analogni SLR fotoaparat Canon TX

**Digitalni fotoaparat** koji se koristio za istraživanje je DSLR marke **Olympus E-300**.

Oznaka DSLR (eng. Digital Single Reflex Camera) označava digitalni zrcalno refleksni fotoaparat kojemu je način nastanka slike u tražilu isti kao i kod analognih SLR-ova, a riječ digitalno samo označava tehniku nastanka slike na senzoru. Olympus E-300 je predstavljen na Photokini 2004. godine, a koristi *full frame* CCD senzor koji se temelji na *FourThirds* standardu. Također ima mogućnost izmjene objektiva, a u istraživanju se koristio objektiv Zuiko Digital fokalne duljine 14-45 mm. Fotoaparat ima ugrađen *Supersonic Wave Filter* koji sprječava prašinu i ostale čestice da dospiju na površinu senzora prilikom izmjene objektiva. Ekpozicija se može namjestiti u rasponu od 30 sekundi do 1/4000 sekunde, dok je otvor zaslona podesiv između vrijednosti 3.5 do 22. ISO vrijednosti su najoptimalnije na 100, 200 i 400, a proširive su i do 800 i 1600. Fotoaparat ima 8 milijuna efektivnih piksela, dok je ukupan broj piksela 8.89 milijuna. Veličina CCD senzora mu iznosi 17.3 mm x 13.0 mm, a omjer stranica senzora 4:3. Namještanje ekspozicije je moguće automatski, sa prioritonom zatvarača, sa prioritonom otvora zaslona, ručno te pomoću odabira scenskih programa.



Slika 3.2.: Digitalni SLR fotoaparat Olympus E-300 (slika preuzeta sa <http://www.dpreview.com/news/2004/9/27/olympuse300>)

Istraživanje je provedeno snimajući određene motive analognim fotoaparatom koristeći filmove različite osjetljivosti u rasponu od ISO100-1600. Motivi su snimani uvijek u isto vrijeme kako bi svjetlosni uvjeti bili jednaki. Nakon što bi se motiv snimio analognim aparatom sa filmom npr. ISO100, snimio bi se isti motiv u skoro isto vrijeme i sa digitalnim fotoaparatom sa postavkom ISO100. Postupak se ponavljao za svaku pojedinu ISO vrijednost. Pazilo se da otvor zaslona i ekpozicija budu jednako podešeni na analognom i digitalnom fotoaparatu kako bi osvjetljenje motiva bila jednaka.

Nakon snimanja analognim fotoaparatom filmovi su razvijeni u foto studiju u negativ. Razvijeni negativ se skenirao pomoću skenera SVP Fs1000 za skeniranje negativa i *slide*-ova. Skener SVP Fs1000 koristi CMOS senzor od 5.17 megapiksela, a za skeniranje pojedine slike je potrebno manje od 1 sekunde. Dubina boje je podesiva na 24 ili 32 bita, dok se rezolucija može namjestiti na 1800dpi ili 3600dpi. Skenirana fotografija se može spremiti u .jpg ili .bmp formatu, a skenirati se može sa *slide*-a, negativa ili crno-bijelog negativa. Za potrebe istraživanja negativ se skenirao u rezoluciji 3600dpi i dubini boje 32 bita, a fotografija se spremala u .jpg formatu. Skener ima negativnu karakteristiku, a to je automatska kontrola ekspozicije i balansa boje. Premda se u postavkama nudi manualno

podešavanje ekspozicije i boje, skener unatoč tome sam kontrolira osvjetljenost automatski ju namještajući na optimalnu, a ne stvarnu.

Zbog te karakteristike analogne fotografije bile su vrlo loše kvalitete i nemoguće za usporedbu sa digitalnim fotografijama. Iako su fotografije snimane u istim uvjetima i sa identičnim postavkama, rezultati nisu bili nimalo zadovoljavajući.



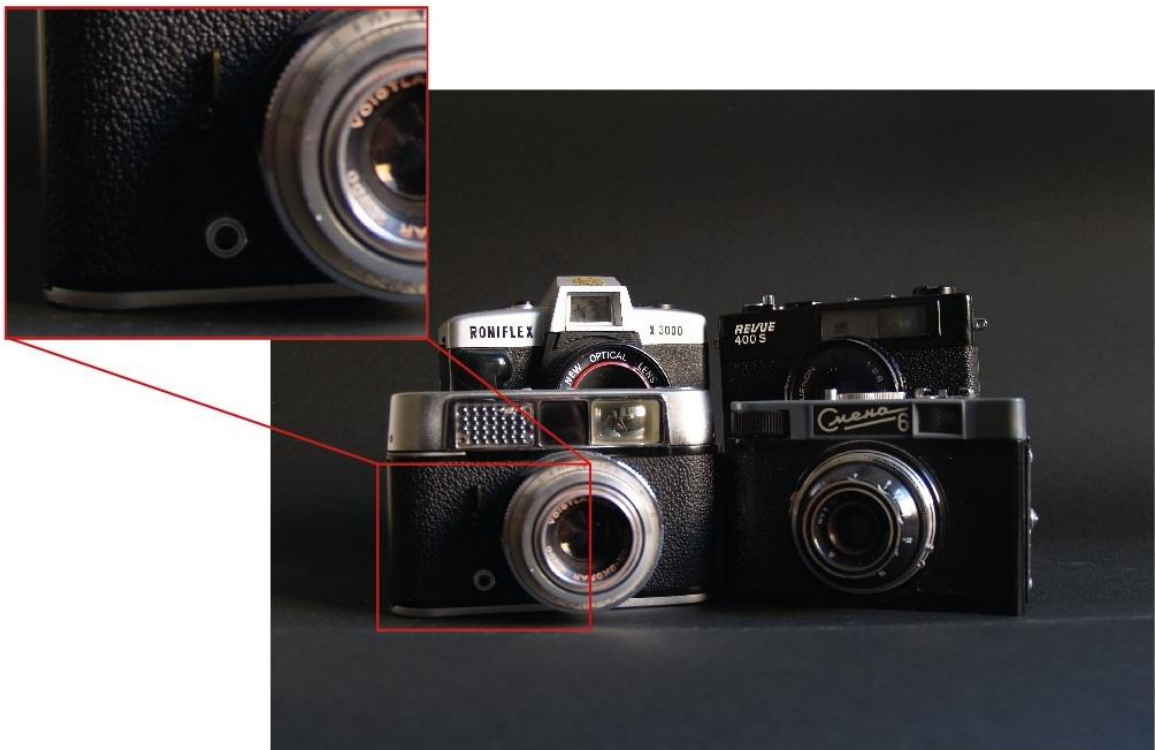
Slika 3.3.: Primjer prvotnih neprihvatljivih rezultata: analogna skenirana fotografija i digitalna fotografija ISO 400, 1/15, f5.6

Zbog prvotnih rezultata koji nisu zadovoljili bilo je potrebno pronaći alternativu kako bi se dobili realni rezultati. Analogne fotografije su razvijene direktno sa filma u foto studiju na format 10x15 cm, te zatim skenirane na plošnom skeneru sa manualnim postavkama. Prilikom razvijanja u foto studiju i skeniranja na plošnom skeneru nisu napravljene nikakve korekcije na fotografiji što se tiče promjene kontrasta, svjetline ili topline boje.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Za potrebe istraživanja snimljena su tri različita motiva. Kao prvi motiv fotografiran je objekt na crnoj podlozi u improvizirnim studijskim uvjetima, ali sa prirodnim izvorom svjetla. Snimanje je provedeno u predvečerje kada su svjetlosni uvjeti lošiji. Izabrana je crna pozadina jer je na njoj šum izraženiji ukoliko ga ima.

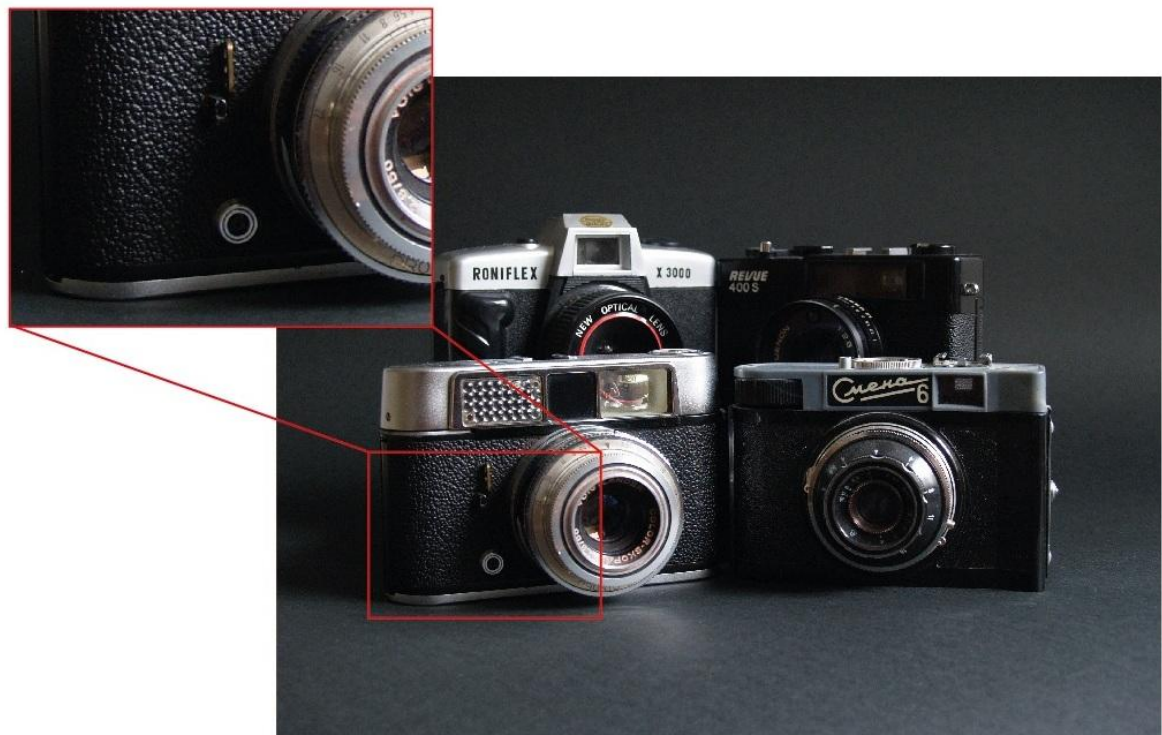
Snimanje je provedeno u određenom vremenskom razdoblju jer je za snimanje na film i njegovo razvijanje potrebno više vremena nego za snimanje i dobivanje gotovih digitalnih fotografija. Ali treba naglasiti da su sve fotografije snimljene uvijek u isto doba dana kako bi svjetlosni uvjeti bili što sličniji.



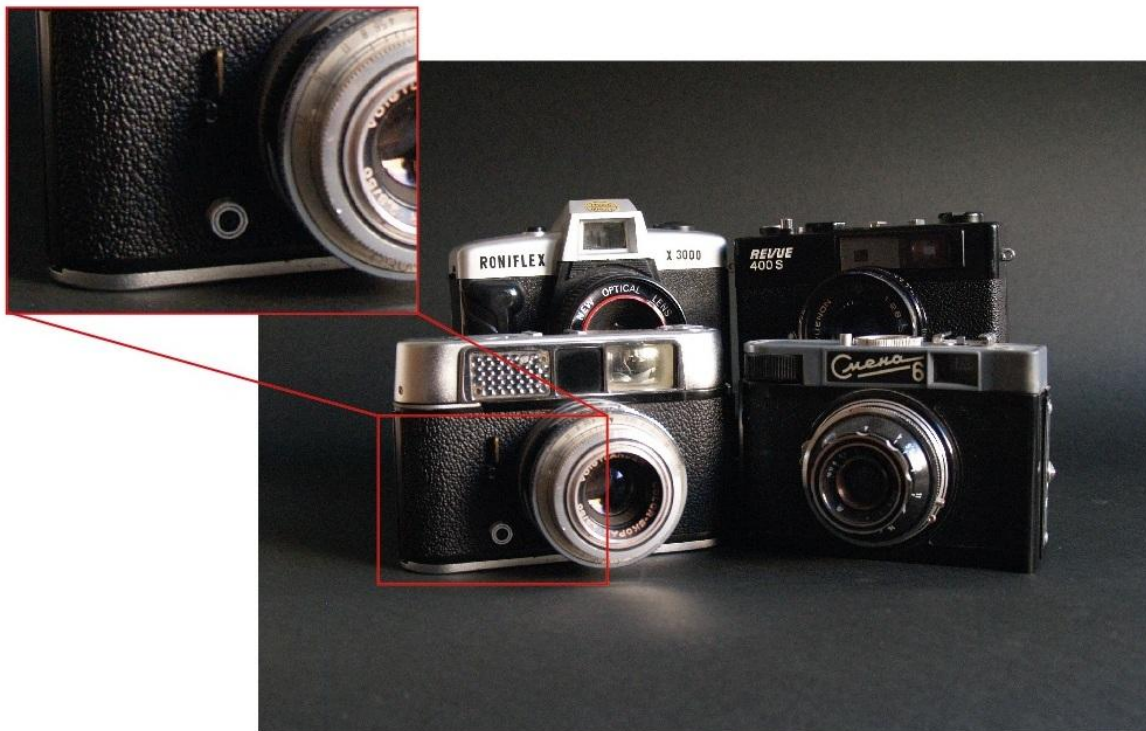
Slika 4.1.: Olympus E-300, ISO 100, 1/8, f 4.5



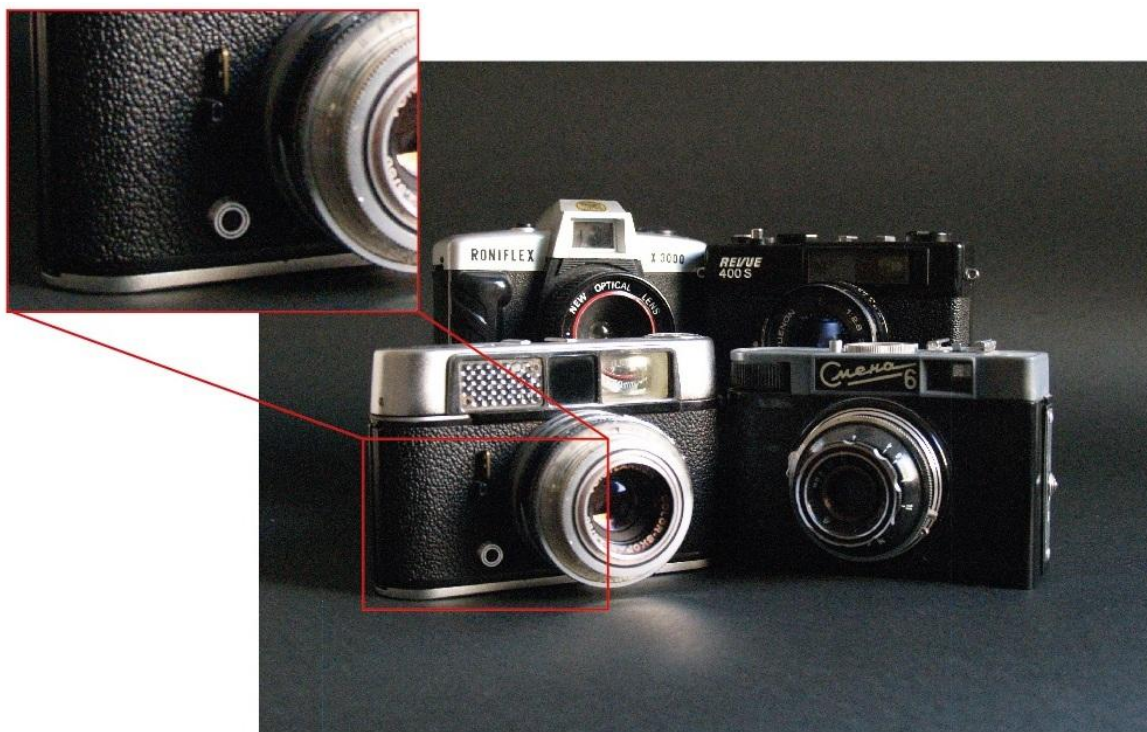
Slika 4.2.: Olympus E-300, ISO 200, 1/15, f 4



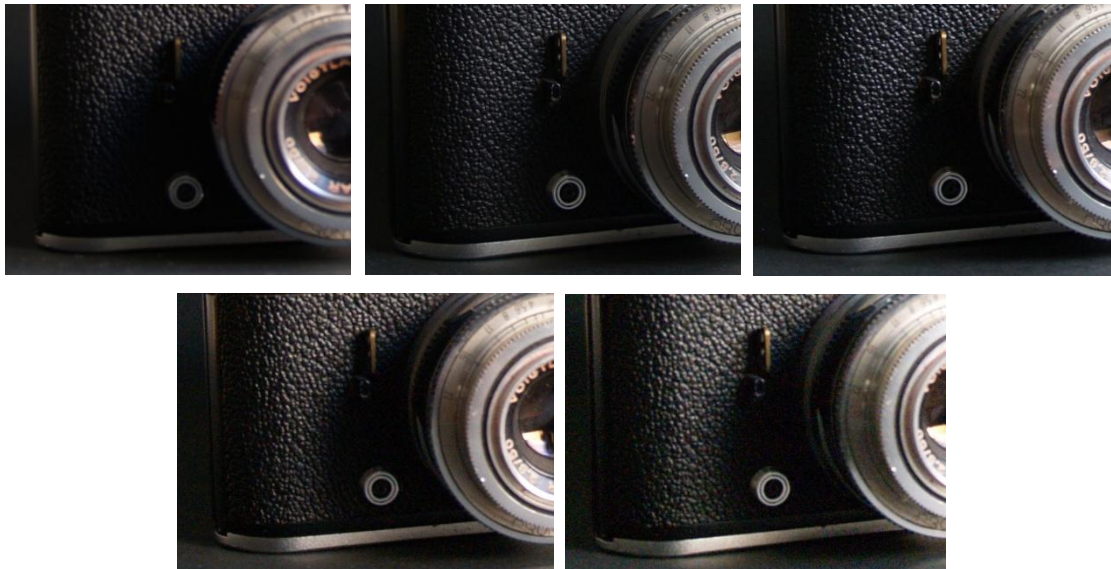
Slika 4.3.: Olympus E-300, ISO 400, 1/15, f 5.6



Slika 4.4.: Olympus E-300, ISO 800, 1/30, f 5.6



Slika 4.5.: Olympus E-300, ISO 1600, 1/60, f 5.6



Slika 4.6.: Pregled povećanja šuma na uvećanim dijelovima fotografije

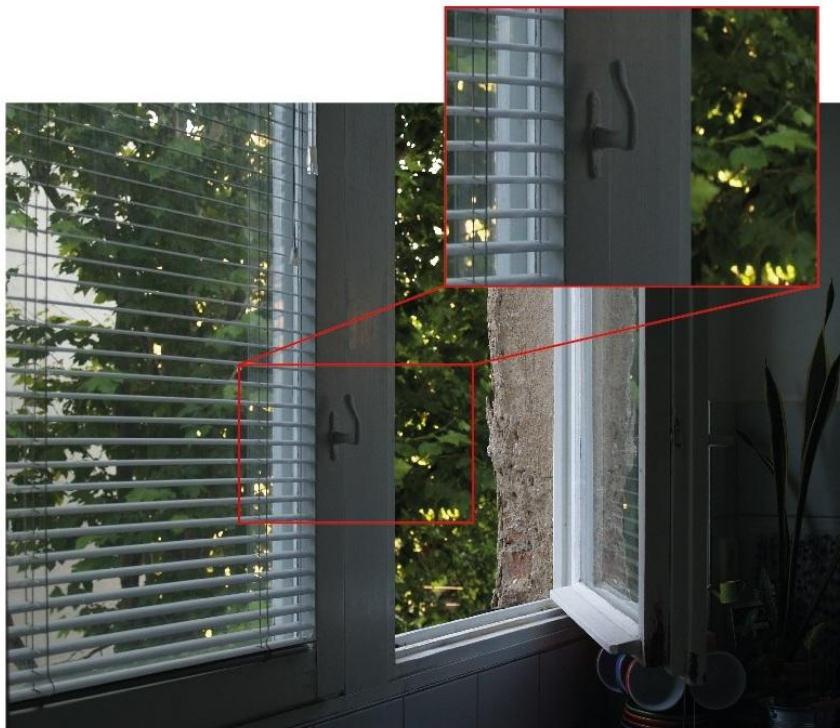
Dobiveni rezultati su potvrdili pretpostavke. Na digitalnim fotografijama šum se povećava s obzirom na povećanje ISO osjetljivosti. Na snimkama snimljenim sa postavkom ISO 100, najmanjom ISO osjetljivosti, šuma nema, a detalji i prijelazi su mekani i blagi. Kod snimke sa postavkom ISO 200 situacija je vrlo slična, pojava šuma je skoro nezamjetna te je takva fotografija itekako prihvatljiva. Na snimci podešenoj na ISO 400 šum se povećava, međutim vidljiv je prilikom povećanja fotografije. Na manjim fotografijama formata 10x15 cm ili 13x18 cm takav šum ne bi bio uočljiv. Kod fotografije snimljene sa ISO 800 šum je već izraženiji te se primjećuje i na manjim formatima. Takva fotografija se ne smatra prihvatljivom s obzirom na šum, jer su prijelazi grublji, a preko cijele fotografije vidljive su nakupine raznobojnih točkica. Na snimkama sa postavkom osjetljivosti ISO 1600 šum je dvostruko veći nego kod ISO 800 te je kao takav potpuno neprihvatljiv. Na manjim formatima je itekako vidljiv i vrlo negativno utječe na izgled fotografije. Šum se na dobivenim fotografijama manifestira u obliku gustih nakupina sitnih točkica različitih boja od kojih su najuočljivije plava, crvena i zelena. Također, izvor ovakvog šuma je šum elektronike, odnosno pojačala. Taj šum se javlja prilikom povećavanja ISO osjetljivosti, a kako se povećava ISO tako se pojačava i signal koji se nalazi u senzoru, a

ovisi o količini svjetla. Ukoliko nema dovoljno svjetla, a ISO je visoko postavljen, signal će se u senzoru umjetno pojačati što će rezultirati pojavom digitalnog šuma.

Treba još naglasiti da je na ovim fotografijama šum ipak malo manje izražen od očekivanog. To se dogodilo zato jer na motivu prevladavaju jednolični sivo-crni tonovi te boje nisu izražene što čini pozadinu homogenom, dok su detalji uglavnom dosta osvijetljeni i svijetlijih boja pa šum nije pretjerano uočljiv.

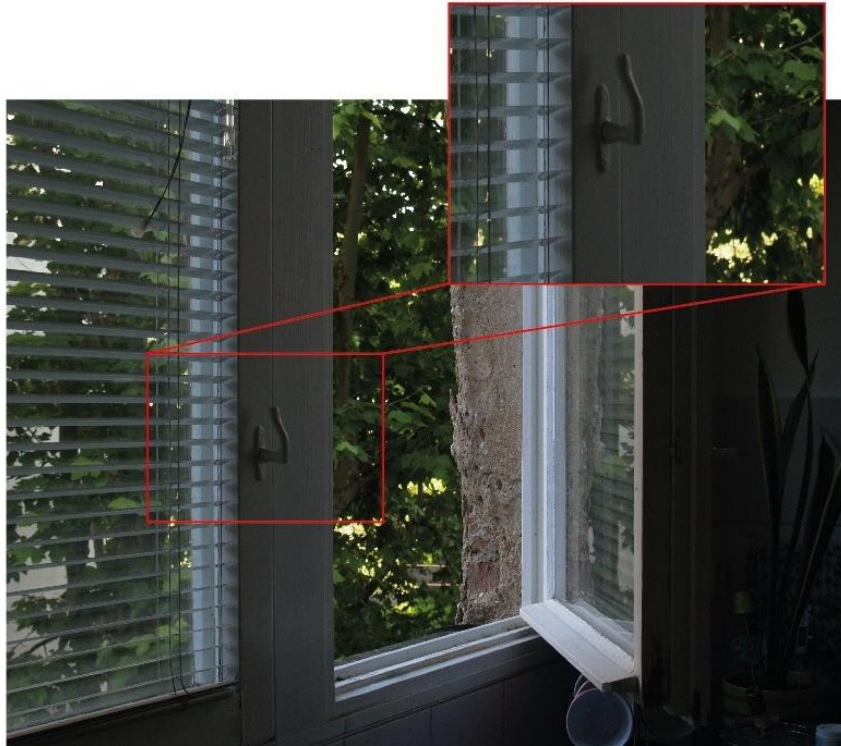
Unatoč tome, vidljivo je da je optimalna postavka za korištenje ISO 100 ili 200, a ISO 400 je još prihvatljiv i pogodan na korištenje, dok se kod ISO 800 i 1600 kvaliteta fotografije poprilično smanjuje i ne preporuča se toliko povećavanje osjetljivosti.

Sljedeći motiv koji se snimao za potrebe istraživanja je fotografiran unutar interijera a usmjeren prema eksterijeru. Fotografije su snimljene u predvečerje, kao i u prvom primjeru, zbog smanjenih svjetlosnih uvjeta. Snimalo se uvijek u isto doba dana, a na fotografiji prevladava mnoštvo detalja i boja.



Slika 4.7.: Olympus E-300, ISO 100, 1/15, f 5.6

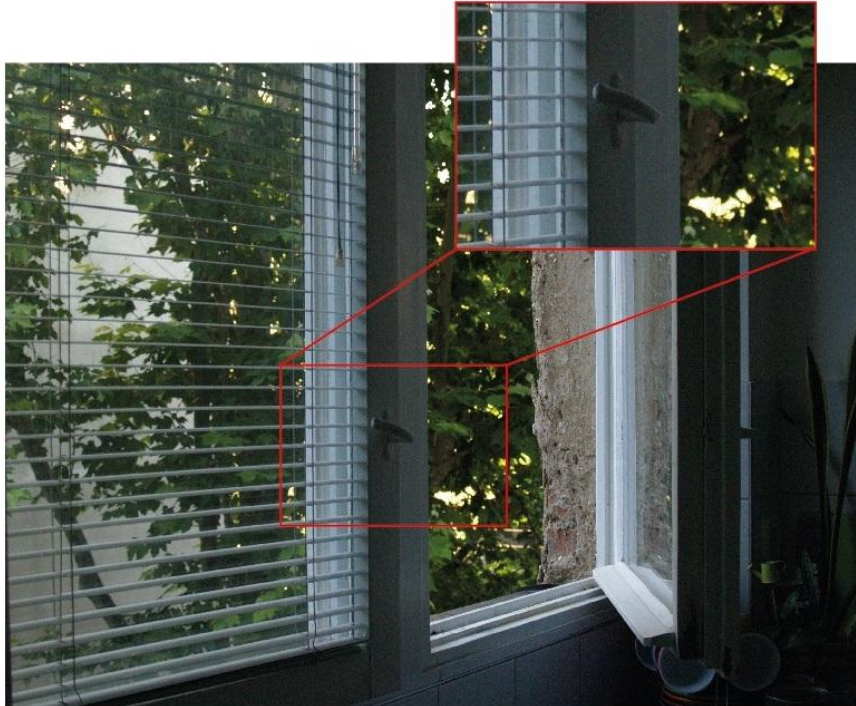




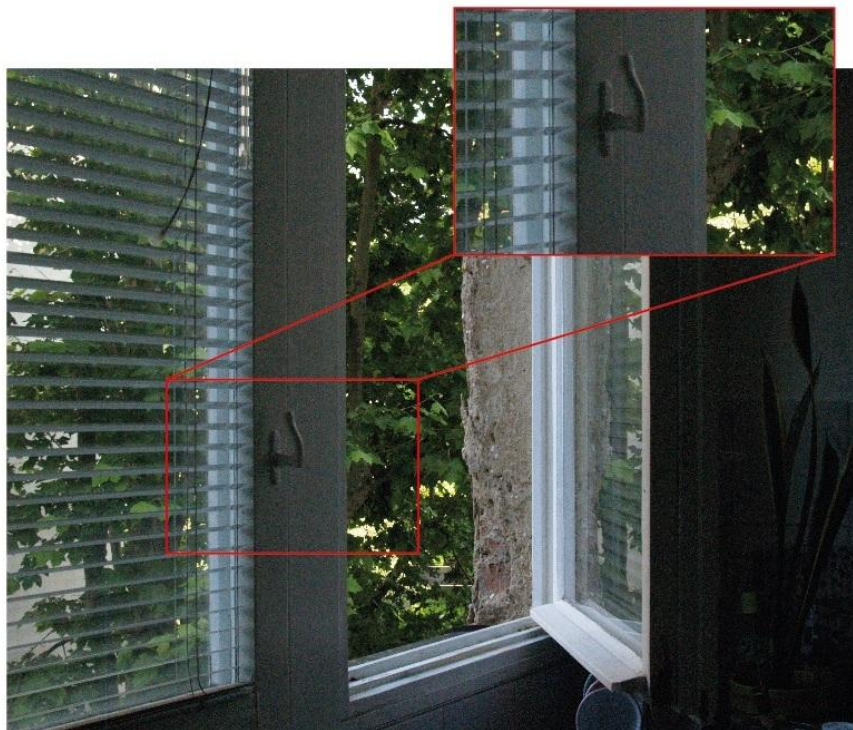
Slika 4.8.: Olympus E-300, ISO 200, 1/30, f 8



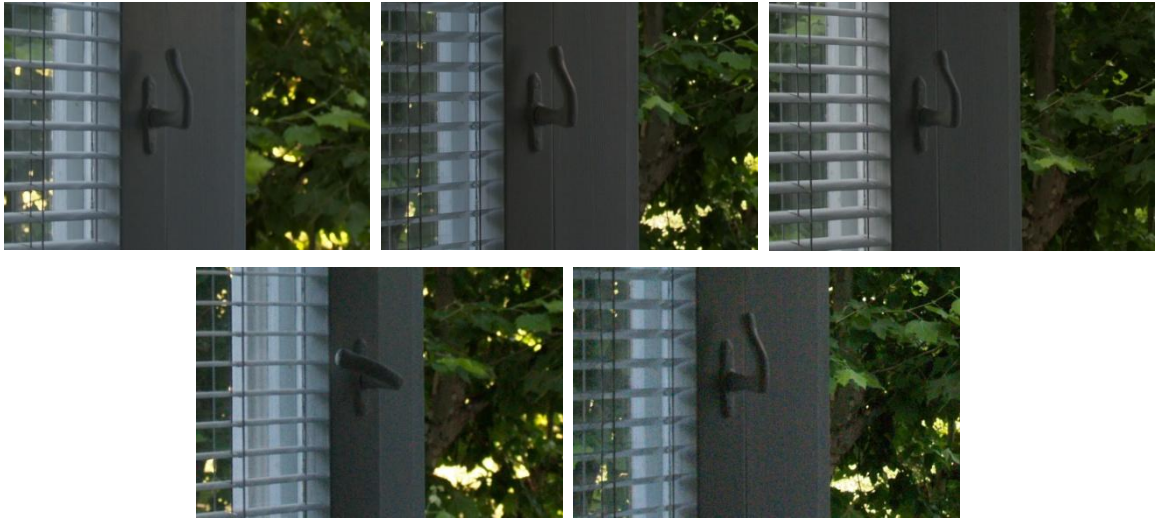
Slika 4.9.: Olympus E-300, ISO 400, 1/60, f 9



Slika 4.10.: Olympus E-300, ISO 800, 1/125, f 5.6



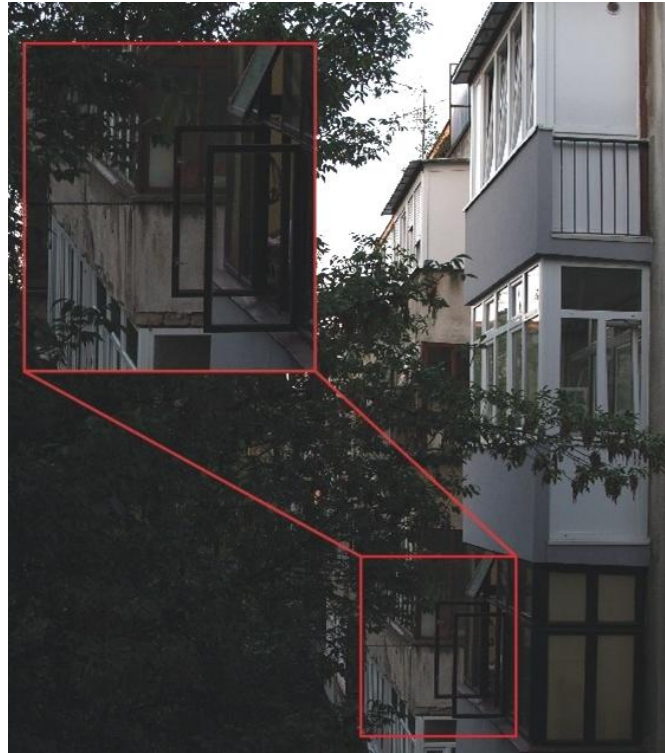
Slika 4.11.: Olympus E-300, ISO 1600, 1/125, f 10



Slika 4.12.: Pregled povećanja šuma na uvećanim dijelovima fotografije

Kao i u prvom primjeru šum na fotografijama sa ISO 100 i ISO 200 ne postoji ili je neprimjetan te su prijelazi glatki i mekani, a detalji vidljivi. Međutim, već kod ISO 400 javlja se nepoželjan šum koji je moguće uočiti i na manjem formatu, pogotovo ako se uspoređuje sa fotografijama sa manjom osjetljivošću. Unatoč tome, takva fotografija se još uvijek može smatrati prihvatljivom ukoliko uvjeti ne omogućavaju korištenje niže osjetljivosti. Na fotografiji sa ISO 800 šum je itekako uočljiv i negativno djeluje na kvalitetu fotografije. Na ravnim bijelim površinama je izraženiji nego kod detalja gdje se stapa zajedno sa nepravilnostima samog motiva. Takva fotografija ima nepoželjan izgled, ali na manjim formatima bi taj šum bio manje izražen pa možemo reći da je takva fotografija još uvijek prihvatljiva i upotrebljiva. Za razliku od fotografije sa ISO 800, kod ISO 1600 digitalni šum je itekako izražen. Vidljiv je preko cijele fotografije i to na manjim formatima. Takva fotografija ima vrlo nepoželjan izgled, te se ne smatra upotrebljivom.

Zadnji motiv sniman je u vanjskom prostoru, u vrlo lošim svjetlosnim uvjetima, što je rezultiralo podeksponiranim tamnijim fotografijama.



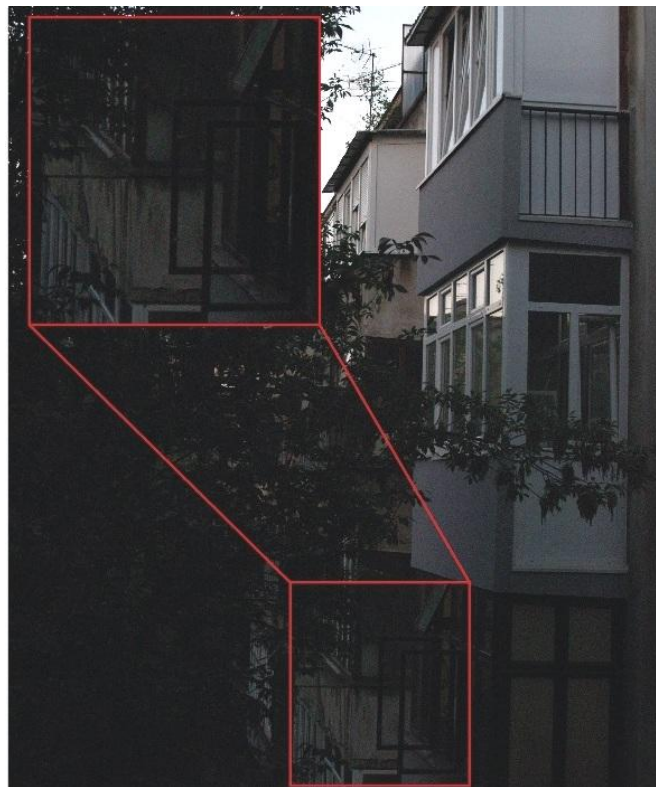
Slika 4.13.: Olympus E-300, ISO 100, 1/30, f 5.6



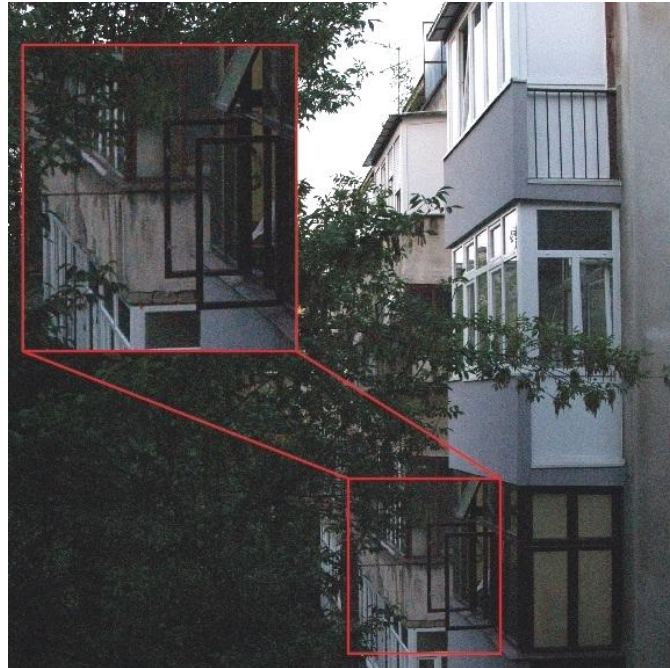
Slika 4.14.: Olympus E-300, ISO 200, 1/60, f 5.6



Slika 4.15.: Olympus E-300, ISO 400, 1/125, f 5.6



Slika 4.16.: Olympus E-300, ISO 800, 1/250, f 5.6



Slika 4.17.: Olympus E-300, ISO 1600, 1/60, f 8

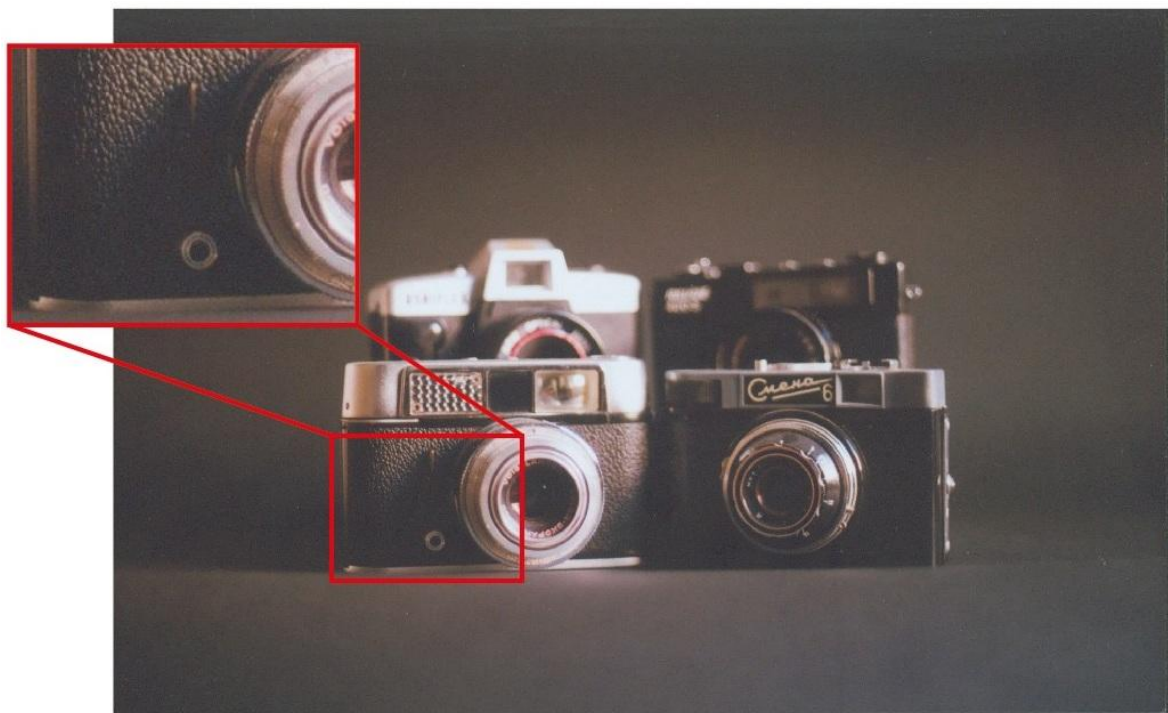


Slika 4.18.: Pregled povećanja šuma na uvećanim dijelovima fotografije

Zadnji snimljeni primjer potvrđuje isto što i prethodna dva. Kvaliteta fotografije drastično pada sa povećanjem ISO osjetljivosti. Potvrđena je pretpostavka da su ISO 100 i ISO 200 najoptimalnije vrijednosti za korištenje, kao i ISO 400 kod kojeg kvaliteta opada ali su takve snimke još uvijek prihvatljive po kvaliteti, dok je kod ISO 800 i ISO 1600 šum vrlo izražen te je kvaliteta fotografije neprihvatljiva.

Kao što je spomenuto ranije, analogne fotografije su razvijene sa negativa na format 10x15 cm te potom skenirane na plošnom skeneru u rezoluciji 300 dpi. Rezultati su ovoga puta bili puno prihvatljiviji od prvotnih rezultata dobivenih skeniranjem negativa te pogodni za usporedbu sa digitalnim fotografijama.

Analognim fotoaparatom snimljena su 3 motiva jednaka onima snimljenim digitalnim fotoaparatom, a u oba slučaja je snimanje provedeno u isto vrijeme.



Slika 4.19.: Canon TX, ISO 100, 1/8, f 4.5

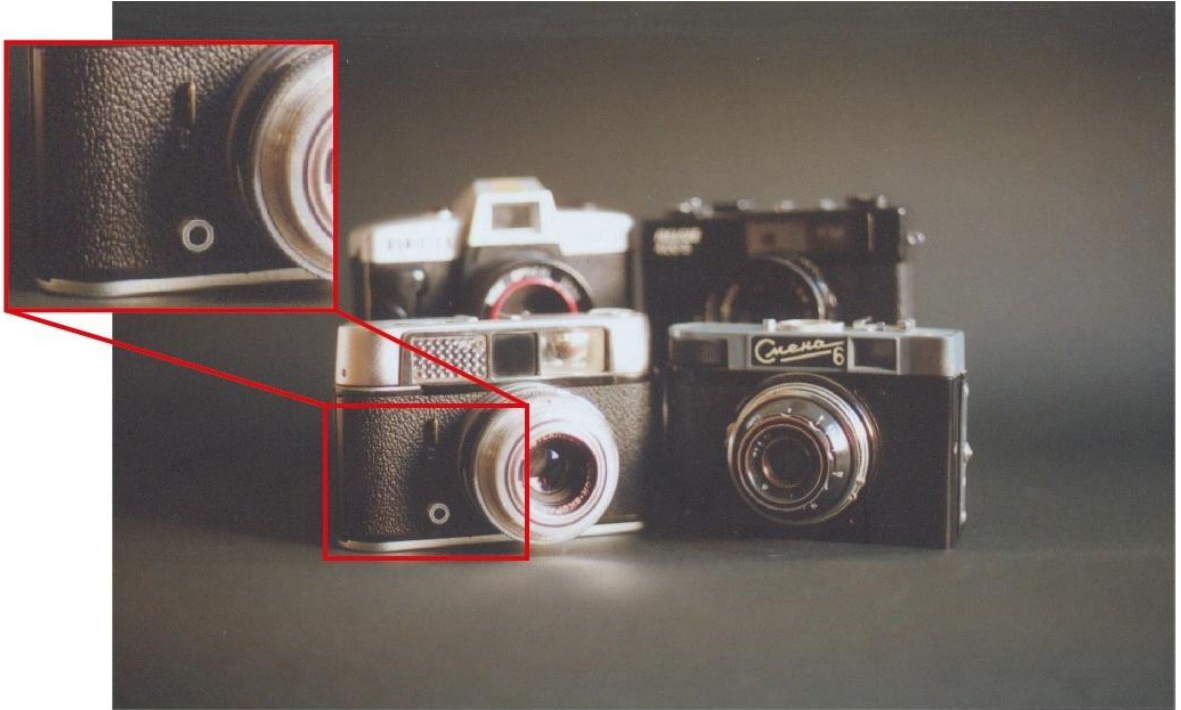


Slika 4.20.: Canon TX, ISO 200, 1/15, f 4

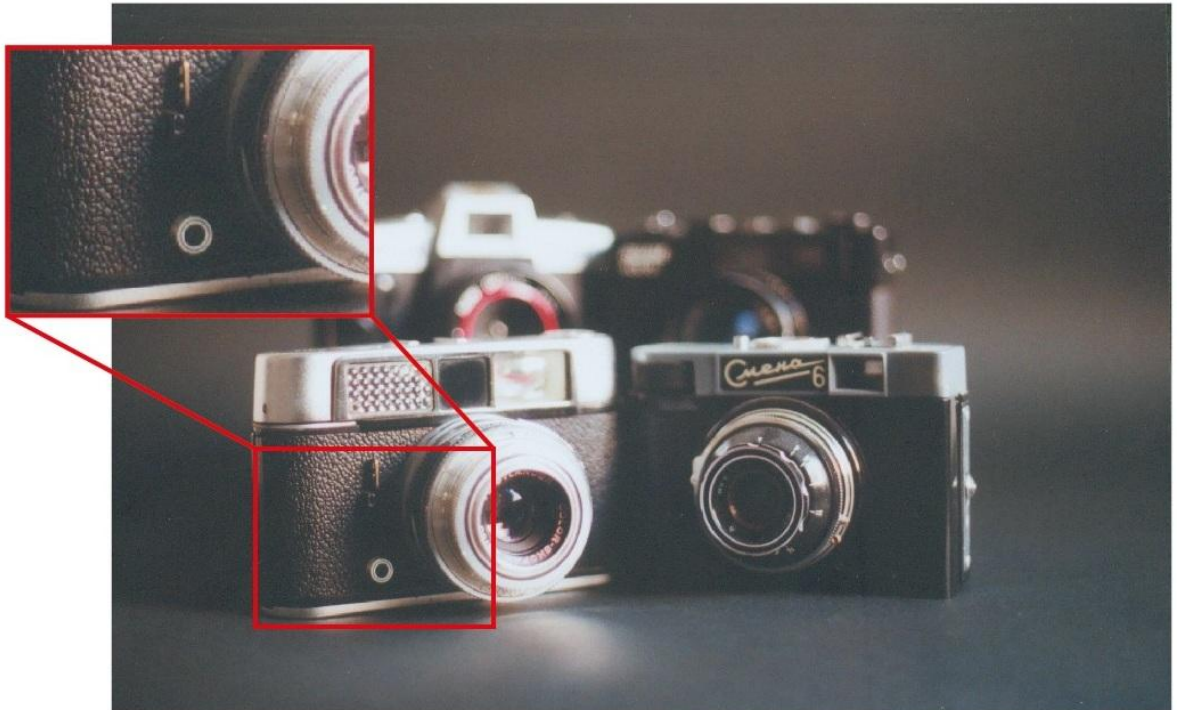


Slika 4.21.: Canon TX, ISO 400, 1/15, f 5.6

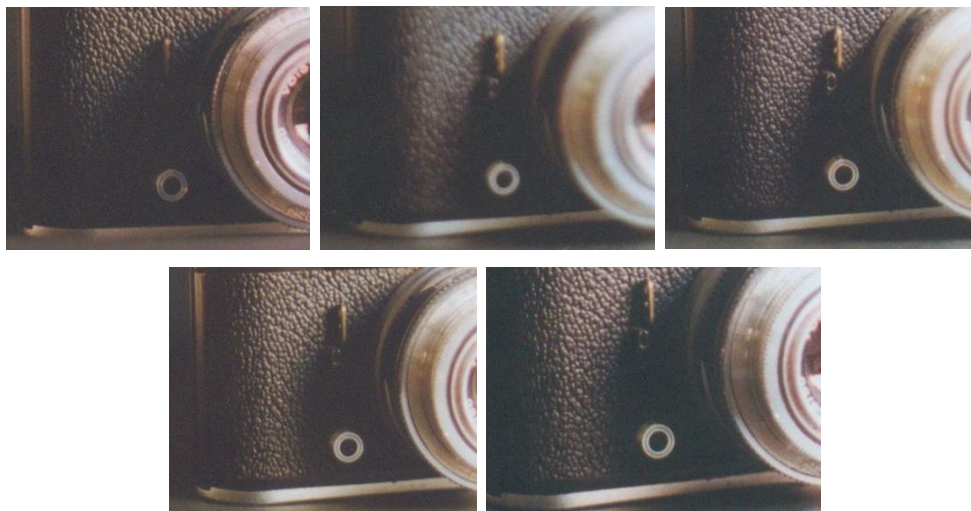




Slika 4.22.: Canon TX, ISO 800, 1/30, f 5.6



Slika 4.23.: Canon TX, ISO 1600, 1/60, f 5.6



Slika 4.24.: Pregled povećanja zrnatosti na uvećanim dijelovima fotografije

Pregledom rezultata dobivenih analognim putem, vidljivo je da su prijelazi iz nižih vrijednosti osjetljivosti na više puno blaži, i ne utječu drastično na kvalitetu kao kod digitalnih fotografija. Kako se povećava ISO osjetljivost, tako i zrno na fotografijama postaje izraženije, te one gube na oštrini. Međutim, nema grubih prijelaza i mijenjanja boja kao kod digitalnih fotografija, nego snimke pokazuju sve grublju strukturu kako se povećavaju ISO vrijednosti fotografija.

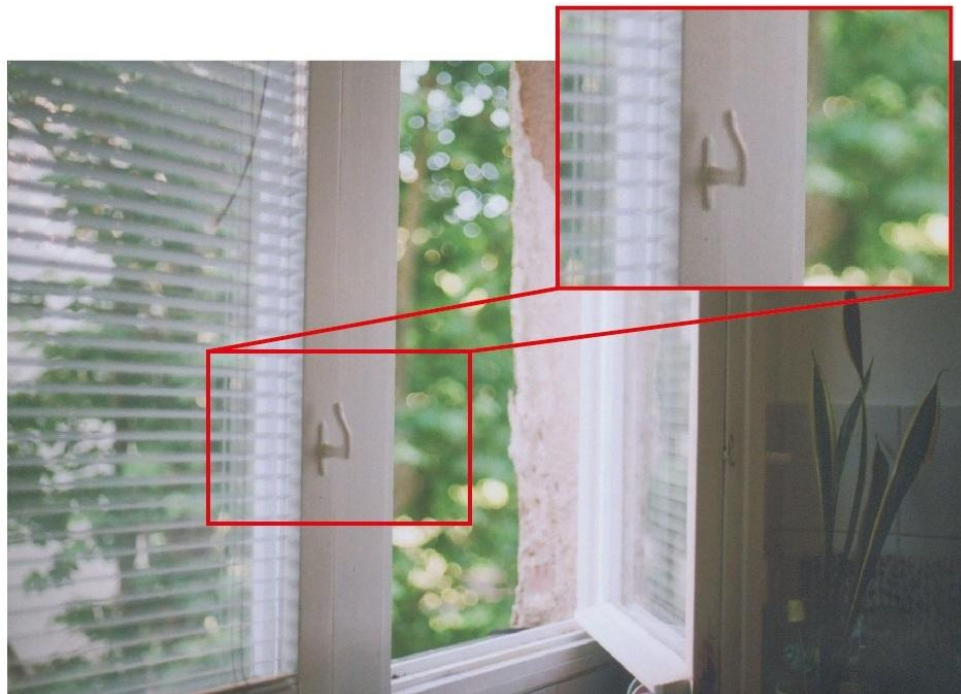
Zrno je očekivano najuočljivije na fotografijama snimljenim sa ISO vrijednostima 800 i 1600, dok je na snimkama sa ISO 100, 200 i 400 zrno finije strukture te se lagano postepeno povećava kako raste i ISO. Potrebno je naglasiti da je zrnatost na analognim fotografijama manje uočljiva nego šum na digitalnim gdje grube nakupine obojanih točkica mijenjaju sliku, dok kod analogne fotografije visoke osjetljivosti pojavu zrnatosti lako možemo zamijeniti za lošu izoštrenost fotografije.

Kako analogne fotografije skeniranjem opet na jedan način prelaze u digitalni svijet, njihova usporedba sa digitalno snimljenim fotografijama ne može biti u potpunosti točna. Zbog toga su uz diplomski rad priloženi originali fotografija snimljenih analognim fotoaparatom te razvijenih sa negativa na format 10x15 cm.

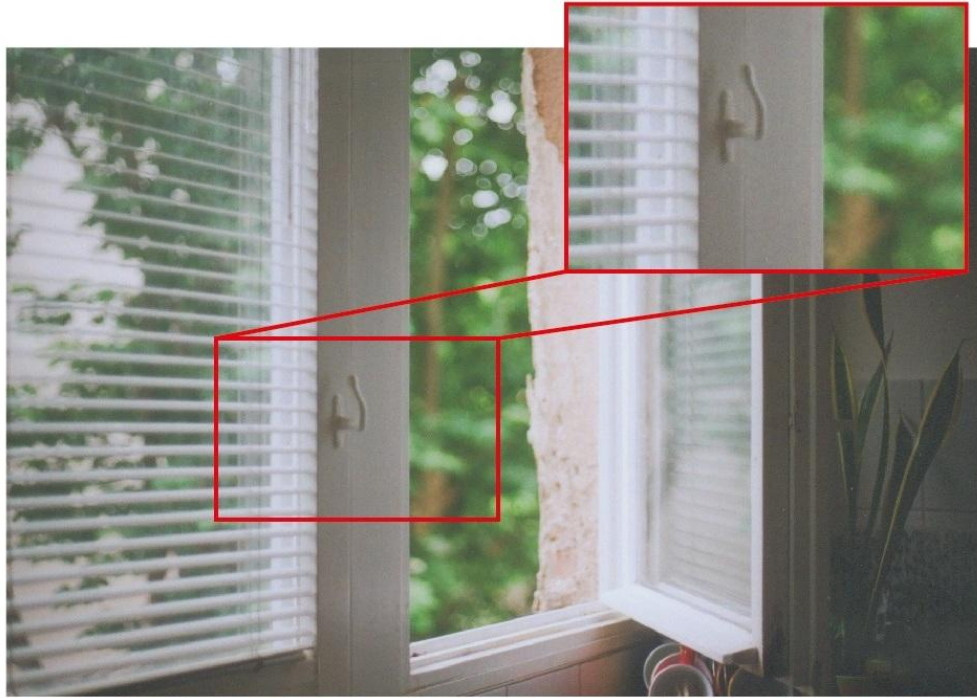
Na snimkama preostalih motiva, vidljivo je da su rezultati isti pa se donosi jednaki zaključak kao i za prethodan motiv.



Slika 4.25.: Canon TX, ISO 100, 1/15, f 5.6



Slika 4.26.: Canon TX, ISO 200, 1/30, f 8



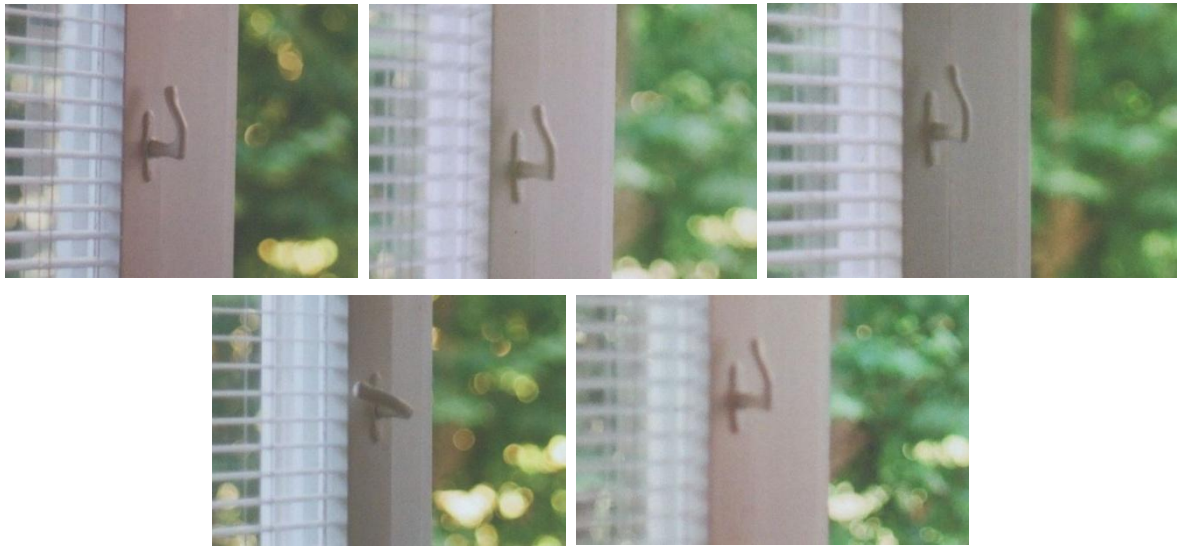
Slika 4.27.: Canon TX, ISO 400, 1/60, f 9



Slika 4.28.: Canon TX, ISO 800, 1/125, f 5.6



Slika 4.29.: Canon TX, ISO 1600, 1/125, f 10



Slika: 4.30.: Pregled povećanja zrnatosti na uvećanim dijelovima fotografije



Slika 4.31.: Canon TX, ISO 100, 1/30, f 5.6



Slika 4.32.: Canon TX, ISO 200, 1/60, f 5.6



Slika 4.33.: Canon TX, ISO 400, 1/125, f 5.6



Slika 4.34.: Canon TX, ISO 800, 1/250, f 5.6



Slika 4.35.: Canon TX, ISO 1600, 1/60, f 8



Slika 4.36.: Pregled povećanja šuma na uvećanim dijelovima fotografije



## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati dobiveni usporedbom osjetljivosti filma i CCD senzora provedeni za ovaj diplomski rad potvrdili su pretpostavke koje su donešene na temelju korištene literature. Prilikom snimanja fotografija u lošim svjetlosnim uvjetima potrebno je pribjeći korištenju visokih postavki osjetljivosti na svjetlo kako bi se iz loših uvjeta mogao izvući maksimum potreban za kvalitetnu fotografiju. Međutim, zbog korištenja visoke osjetljivosti, na fotografiji dolazi do neželjenih pojava. U analognoj fotografiji javlja se zrno, a kod digitalnih fotografija dolazi do pojave šuma.

Vizualnom procjenom rezultata snimanih analognim i digitalnim fotoaparatom mogu se donijeti zaključci o negativnim pojavama koje se javljaju pri visokoj osjetljivosti te je moguće utvrditi najveću prihvatljivu razinu osjetljivosti koja ne utječe negativno na kvalitetu fotografija. Prilikom snimanja analognih, kao i digitalnih fotografija, preporuča se korištenje postavki osjetljivosti ISO 100, ISO 200 i ISO 400 kod kojih ne dolazi do gubitka kvalitete, dok snimanje sa postavkama ISO 800 i ISO 1600 treba izbjegavati jer loše djeluju na kvalitetu fotografije.

Rezultatima ovog istraživanja je dokazana pretpostavka diplomskog rada, koja kaže da je zrnatost koja se javlja pri većoj osjetljivosti u analognoj fotografiji prihvatljivija nego što je to pojava šuma u digitalnoj fotografiji. Pojava zrnatosti na fotografijama rezultira grubljom strukturom fotografije smanjujući oštrinu, ali pritom daje estetski ugodan izgled fotografije te poseban ugođaj. Pojava šuma se pak, nikako ne može smatrati poželjnom pojavom jer mijenja izgled fotografije na estetski neprihvatljiv način, stvarajući na fotografiji grube nakupine točkica različitih boja.

Unatoč toj nepoželjnoj pojavi šuma, digitalna tehnologija se sve više razvija u pogledu proizvodnje većih i kvalitetnijih senzora koji detektiraju veće količine svjetla u lošim svjetlosnim uvjetima, time smanjujući šum i ne gubeći na kvaliteti fotografije. Također, postoje i načini uklanjanja nepoželjnog šuma u naknadnoj obradi digitalne fotografije računalnim softverima namijenjenim upravo rješavanju takvih problema.

U isto vrijeme, analogna fotografija ostaje fotografskim entuzijastima i zaljubljenicima u tehnike koje polagano izumiru, dajući im prostora za eksperimentiranje sa filmovima visoke osjetljivosti koje rezultiraju jedinstvenim ugođajem kakav se u digitalnom svijetu teško postiže.

## 6. LITERATURA

1. Fizi M. (1982.) Fotografija – teorija, praksa, kreacija, Grafički zavod Hrvatske, Zagreb
2. Langford M., Fox A., Smith R.S. (Ninth Edition 2010.) Langford's Basic Photography, Focal Press
3. Langford M., Bilissi E. (Seventh Edition 2008.) Langford's Advanced Photography, Focal Press
4. Ang T. (2006.) Cjeloviti priručnik za digitalnu fotografiju. Leo Commerce, Rijeka
5. Freeman M., (2009.) Michael Freeman's Perfect Exposure, Focal Press
6. Ciceli T., (2004.) Primjena digitalne kamere u terestričkoj fotogrametriji, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet
7. Riedl V., Plotnik M. (1946.) Fotorječnik, Nakladni zavod Hrvatske
8. \*\*\*<http://www.svijetfotografije.com/hrv/enciklopedija/enciklopedija/fotografski-aparati/> - Svijet fotografije, 03.05.2012.
9. \*\*\* <http://www.svijetfotografije.com/hrv/enciklopedija/oznake-filma/> - Svijet fotografije, 03.05.2012.
10. \*\*\*[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/photography\\_analog.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/photography_analog.html) – Encyclopedia of science, 6.5. 2012.
11. \*\*\*<http://www.pcpres.rs/arhiva/tekst.asp?broj=109&tekstID=5671> – Online časopis PC Press, 12.05.2012.
12. \*\*\* <http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/digi-osnove/povijest-digitalne-fotografije> – Foto grafiti, 10.05.2012.
13. \*\*\* <http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/digi-osnove/%C5%A1-zna%C4%8Di-digitalno> – Foto grafiti, 10.05.2012.
14. \*\*\* [http://hrcak.srce.hr/index.php?id\\_clanak\\_jezik=17257&show=clanak](http://hrcak.srce.hr/index.php?id_clanak_jezik=17257&show=clanak) – članak dostupan na stranici – Tomislav Ciceli: Ponešto o digitalnim kamerama, 13.05.2012.

15. \*\*\* <http://www.fotografija.hr/ccd-cmos-foveon-super-ccd/905/> - Fotografija.hr-fotografska i vizualna kultura, 15.05.2012.
16. \*\*\*<http://www.tomislavdekovic.iz.hr/clanci/fotografija/teorija.html> – Tomislav Deković, 20.05.2012.
17. \*\*\*<http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/opce-osnove/iso> – Foto grafiti, 14.05.2012.
18. \*\*\*<http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/napredno-digitalno/%C5%A1um-digitalnih-aparata> – Foto grafiti, 14.05.2012.
19. \*\*\*<http://www.cahayabox.net/2009/11/05/tehnologija-kako-rade-cmos-i-ccd/> - Chayabox, portal o fotografiji, 14.05.2012.
20. \*\*\*<http://www.lightstalking.com/reduce-noise> – Light Stalking, blog o fotografiji, 18.05.2012.
21. \*\*\*<http://www.perpetualvisions.com/new-articles/nik-dfine2/review-dfine2-.html> – Review of Nik Define Software 2.0, 18.05.2012.