



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet



NASTAVNI MATERIJAL

Kolegij: **Primjena digitalne fotografije u reprodukcijским medijima**

Nositelj kolegija: dr. sc. Maja Strgar Kurečić, doc.

Naziv studija: Sveučilišni diplomski studij grafičke tehnologije

Godina studija: I godina – I semestar

Zagreb, 2015

CILJEVI KOLEGIJA

- Usvajanje znanja o osnovnim vrstama, dijelovima i principu rada digitalnog fotoaparata i objektiva.
- Usvajanje znanja o tehničkim karakteristikama digitalnih fotoaparata vezanim uz kvalitetu slike.
- Razumijevanje kriterija i standarda tehničke kvalitete digitalne fotografije te kritičko prosuđivanje istih.
- Sposobnost interpretacije i primijene stečenih teorijskih znanja u praktičnom radu sa digitalnim fotoaparatom. Ispravno rukovanje sa različitim modelima digitalnih fotoaparata u različitim uvjetima dnevne i studijske rasvjete.
- Sposobnost korištenja softvera za računalnu obradu fotografija.

ISHODI UČENJA NA RAZINI KOLEGIJA

- Klasificirati različite vrste digitalnih fotoaparata i objektiva.
- Objasniti funkciju pojedinih dijelova digitalnog fotoaparata.
- Definirati osnovne elemente ekspozicije.
- Primijeniti odgovarajuće postavke na digitalnom fotoaparatu za postizanje ispravne ekspozicije.
- Koristiti odgovarajući softver za obradu fotografija.
- Kritički prosuđivati tehničku kvalitetu digitalno snimljenih fotografija.

ISHODI UČENJA NA RAZINI PROGRAMA

- Korištenje alata i znanja o tehnološkim procesima i materijalima u oblikovanju, reprodukciji i distribuciji vizualne poruke.
- Primjena tehnika za obradu i oblikovanje različitih medija (slika, zvuk, video, fotografija, animacija).
- Procjena kvalitete proizvodnog procesa i vrednovanje završnog proizvoda.

SADRŽAJ

1. KRATKA POVIJEST DIGITALNE FOTOGRAFIJE

1.1. 50-te godine - Početak televizijske ere	3
1.2. 60-te godine - Doba hladnog rata, špijuniranja i utrke za osvajanjem svemira	5
1.3. 70-te godine - Stvoreni preduvjeti za razvoj digitalne fotografije	5
1.4. 80-te godine - Nova era u fotografiji	6
1.5. 90-te godine - Vrhunac digitalne revolucije i Internet boom	8
1.6. 2000-te godine - Početak kraja filma	10
1.7. Trendovi u posljednjih nekoliko godina	11

2. DIGITALNI FOTOGRAFSKI SUSTAV

2.1. Kategorije digitalnih fotoaparata	15
2.1.1. Kompaktni fotoaparati	15
2.1.2. SLR - zrcalno refleksni fotoaparati	16
2.1.3. CSC - fotoaparati bez zrcala	17
2.1.4. Studijske kamere srednjeg i velikog formata	18
2.1.5. Kamere na pametnim telefonima	19
2.2. Princip rada i osnovni dijelovi digitalnog SLR fotoaparata	19
2.3. Kako nastaje digitalna slika	20
2.4. Senzor za bilježenje slike	21
2.4.1. Vrste i princip rada senzora	22
2.4.2. Format i senzora	24
2.4.3. Rezolucija senzora	25
2.4.4. Spektralna osjetljivost senzora	26
2.4.5. Osjetljivost senzora i šum	28
2.4.6. Dinamički raspon senzora	29
2.5. A/D pretvornik i dubina bita	31
2.6. Procesor	33
2.7. Objektiv	36
2.7.1. Konstrukcija objektiv	36
2.7.2. Žarišna duljina i vidni kut	40
2.7.3. Utjecaj formata senzora na promjenu žarišne duljine	41
2.7.3.1. Faktor izrezivanja i ekvivalentna žarišna duljina	41
2.7.4. Osnovna podjela objektiv	42
2.7.4.1. Srednji ili standardni objektiv	42
2.7.4.2. Širokokutni objektiv	43
2.7.4.3. Teleobjektiv	44
2.7.4.4. Zoom objektiv	45
2.7.4.5. Objektiv za specijalne namjene	46
2.7.5. Greške leća i objektiv	49
2.7.6. Kvaliteta objektiv i MTF graf	52

3. OSNOVNE POSTAVKE DIGITALNOG FOTOAPARATA

3.1. Ekspozicijski trokut	57
3.2. Postavke koje utječu na ekspoziciju	59
3.2.1. Podešavanje ISO osjetljivosti	59
3.2.2. Podešavanje otvora zaslona	62
3.2.2.1. Kontrola dubinske oštine	63
3.2.3. Podešavanje brzine zatvarača	66
3.2.4. Dodavanje svjetla – fill in bljeskalica	70
3.2.5. Kontrola ekspozicije	72
3.2.5.1. Odabir načina snimanja (shooting mode)	72
3.2.5.2. Odabir načina mjerenja (metering mode)	74
3.2.5.3. Kompenzacija ekspozicije	75
3.2.5.4. Korištenje histograma	77
3.3. Odabir veličine slike	80
3.4. Odabir formata zapisa	81
3.5. Podešavanje ravnoteže bijele boje	83
3.5.1. Utjecaj temperature boje svjetla na reprodukciju boja	84
3.5.2. Siva karta	86
3.6. Optimiziranje slike	87
3.7. Podešavanje načina fokusiranja (auto/manual)	88
3.8. Podešavanje načina okidanja (drive mode)	90

1. KRATKA POVIJEST DIGITALNE FOTOGRAFIJE

1.1. 50-te godine - Početak televizijske ere

1.2. 60-te godine - Doba hladnog rata, špijuniranja i utrke za osvajanjem svemira

1.3. 70-te godine - Stvoreni preduvjeti za razvoj digitalne fotografije

1.4. 80-te godine - Nova era u fotografiji

1.5. 90-te godine - Vrhunac digitalne revolucije i Internet boom

1.6. 2000-te godine - Početak kraja filma

1.7. Trendovi u posljednjih nekoliko godina

U ovom poglavlju...

pregled razvoja digitalne fotografije od 50-tih godina prošlog stoljeća do danas, uz prikaz najznačajnijih modela fotoaparata koji su imali velik utjecaj na evoluciju digitalnih fotoaparata.



Slika 1. Steven Sasson 0.1 MP (1973.)



Slika 2. Nokia 41 MP (2013.)

1.1. 50-te godine - Početak televizijske ere

Iako bi mogli pomisliti da bi pregled razvoja digitalne fotografije trebali započeti nekim kasnijim godinama - s pojavom prvih digitalnih fotoaparata, začetak ideje o digitalnoj fotografiji seže puno dalje u prošlost. Dalje čak i od 50-tih godina, od kojih ćemo započeti ovaj pregled. Naime, zanimljivo je da je prvobitna ideja o „električnoj fotografiji“ najprije bila vezana za zamisli i razvoj tehnologija tipičnih za razvoj televizije. Još je davne 1908. godine škotski znanstvenik Alan Campbell Swinton objavio, u znanstvenom časopisu Nature, svoju ideju o snimanju i projekciji slike na daljinu spajanjem dva uređaja, elektronskim putem. Tom idejom, kao i nizom drugih otkrića u području prijenosa radiovalova, te načinima projiciranja slike, do prve polovice 20. stoljeća, stvoreni su temelji moderne televizije.



1951. korišten je prvi “video tape recorder” (VTR) za snimanje televizijskog programa na magnetsku traku. Do tada je sav program emitiran uživo. Slikovne informacije su se pretvarale u električne impulse i spremale na magnetsku traku. Kasnije su ti signali dekodirani kroz video tape player.

Slika 3. Ampex VRX-1000 prvi komercijalni videotape recorder (1956.)

Do kraja 50-tih VTR tehnologija je usavršena i postala je općeprihvaćena i korištena u televizijskoj industriji.



Slika 4. Usporedni prikaz različitih video traka (povijesni pregled od 1950. – 2005.)

Slijedeći veliki korak zbio se 1957. kad je **Russell Kirsch** (National Bureau for Standards) izveo prvo skeniranje sa svojim rotacijskim „drum“ skenerom. Skener je očitavao sliku i spremao ju u binarnom obliku. Prva slika ikada skenirana na tom uređaju bila je 5x5 cm fotografija Kirschovog tri mjeseca starog sina. Crno bijela skenirana slika imala je rezoluciju od 176x176 piksela. Ta fotografija danas se smatra prvom digitalnom fotografijom u povijesti. Pronalazak skenera predstavljao je direktni pomak tehnologije prema zamisli digitalne fotografije i osmišljavanju uređaja za digitalizaciju slika.



Slika 5. Prva skenirana slika

ZANIMLJIVOST: Skenirana slika Kirschovog sina odabrana je od strane Life magazina kao jedna od 100 fotografija koje su promijenile svijet. (LIFE “100 Photographs that Changed the World”: An Updated Edition of LIFE’s Classic Book, August 9, 2011)



Slika 6. Tehničar za skenerom



Slika 7. Russell Kirsch danas

1.2. 60-te godine - Doba hladnog rata, špijuniranja i utrke za osvajanjem svemira

Doba hladnog rata bilo je zlatno doba razvoja moderne tehnologije. Nakon što je 1960. iznad SSSR-a oboren američki špijunski avion, intenzivirali su se napori u razvoju tehnologije za promatranje (špijuniranje) iz orbite. Lansiraju se sateliti sa kamerom radi špijuniranja protivnika. U prvo vrijeme, kapsule sa filmom šalju se na Zemlju. Najveći problem predstavljalo je pronalaženje kapsule, koja bi često završila u moru, ili još gore, u rukama suparnika. Kasnije je u satelite ugrađen prvi automatski uređaj za razvijanje filma i skener koji je slikovnu datoteku pretvarao u analogni signal i slao radiovezom na Zemlju. Pojavila se potreba za novim sistemom snimanja bez filma. Započeta su istraživanja čiji je cilj bio pretvaranje fotografija u digitalni oblik radi lakšeg slanja na velike udaljenosti.



Slika 8. W. S. Boyle i G. E. Smith (travanj 1970). "Charge Coupled Semiconductor Devices".

17. listopada 1969. predstavljen prvi CCD (Charged Coupled Device), senzor sa nizom fotosjetljivih jedinica spojenih u redove, koji pretvaraju svjetlo u električne signale. Osmislili su ga **Willard Boyle** i **George Smith** (Bell Labs). I upravo taj izum predstavlja jedno od najvažnijih otkrića koje je omogućilo razvoj digitalne fotografije. To je bio element koji je nedostajao za komercijalnu uspješnost digitalnih fotoaparata. Svi ostali bitni dijelovi preuzeti su iz analognih fotoaparata (zatvarač, optika i dr.) ili iz računalne tehnologije (procesori, memorija).

Krajem 60-tih, razvojem prvih CCD i CMOS poluvodičkih sklopova koji su korišteni kao optički senzori, započela je vojna upotreba digitalne fotografije.

1.3. 70-te godine - Stvoreni preduvjeti za razvoj digitalne fotografije

Prvi komercijalni CCD senzor, veličine 100x100 piksela, proizvela je 1973. tvrtka **Fairchild Semiconductor**.

Ovaj senzor korišten je u prvom poznatom fotografskom uređaju za dobivanje elektronske slike, kojeg je 1975. razvio Kodakov inženjer **Steven Sasson**. Fotoaparat je bio težak 3,6 kg. CCD je bilježio crno bijelu sliku koja se spremala na kazetu (magnetnu traku), a rezolucija mu je bila 0,1MP. Trebao je cca 23 sekunde za snimanje jedne fotografije. Taj prototip digitalnog fotoaparata predstavljao je eksperiment koji nikada nije bio namijenjen produkciji, no velikog je značaja za razvoj digitalne fotografije, jer je predstavljao prvi fotoaparat sa CCD senzorom.

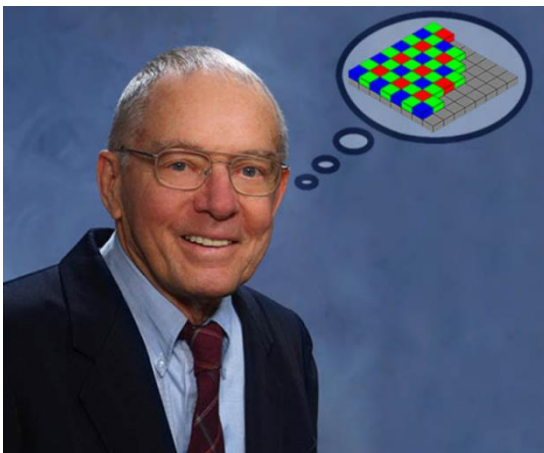


Slika 9. Prvi CCD senzor (1973.)

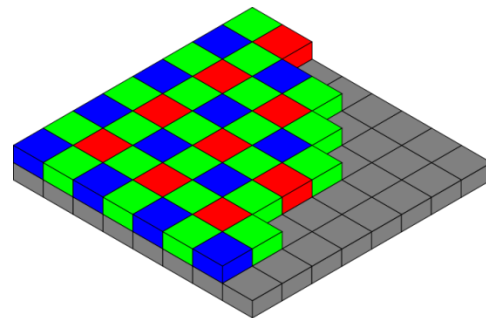


Slika 10. Prvi fotoaparat sa CCD senzorom

Iste godine, znanstvenik koji je također radio za tvrtku Kodak, **Bryce Bayer** izumio je sustav filtara u boji iznad fotodetektora na senzoru (R-G-B matrica) koji omogućuje dobivanje digitalne slike u boji. Filtar koji nosi njegovo ime Bayer filtar, izum je koji se još uvijek koristi u većini digitalnih fotoaparata, video kamera, skenera i kamera u pametnim telefonima.



Slika 11. Bryce Bayer



Slika 12. Bayer filtar

1.4. 80-te godine - Nova era u fotografiji

Godine 1981. tvrtka Sony je na tržište lansirala prvi komercijalni elektronički uređaj **Mavica** (Magnetic Video Camera) rezolucije 0,28 MP. To je bila prva elektronička kamera sa CCD senzorom namijenjena za korištenje kao što se koristila videokamera sa

filmom. Snimke je prikazivala na televizoru. To je zapravo bila analogna kamera koja je snimala piksele tj. signale kontinuirano (kao videokamera) na magnetsku 2x2 inch floppy disketu. Kapacitet diskete bio je manji od 1MB i na nju je stalo oko 25 fotografija. Preteča je današnjih memorijskih kartica. Kvaliteta slike bila je jednaka kvaliteti tadašnje televizijske slike. Mavica nije bila pravi digitalni fotoaparatus, jer nije imala ugrađeni A/D konverter. Slike spremljene u analognoj formi na floppy disketi morale su biti digitalizirane na računalu putem video kartice. Iako se radilo o videokameri sposobnoj za zapisivanje elektronskih fotografija na diskete, ovaj uređaj već je imao sve karakteristike digitalnog fotoaparatusa. Zbog izbora izmjenjivih objektivu (25 mm, F:2,0; 50 mm, F:1,4 i zum objektiv 16-65 mm, F:1,4) i senzora s rezolucijom 570 X 490 piksela veličine 10 X 12 mm, ovaj uređaj pokazao je kako bi mogli izgledati budući digitalni fotoaparatusi.



Slika 13. Sony Mavica - electronic still video camera (1981.)



Slika 14. 3.5-inhc floppy disketa (Sony, 1981.)

Slijedećih godina započinje utrka za većim brojem megapiksela. Radi se na razvoju novih senzora. Godine 1987. znanstvenici iz Kodaka izumili su prvi megapikselni CCD senzor koji je mogao zabilježiti 1.4 milijuna piksela. Ugradili su ga u **Videk MegaPlus** kameru. No, to još uvijek nije bilo dovoljno za izradu kvalitetne fotografije u boji veće od 7x10 cm. A i cijena od \$10,000 - \$40,000 je bila prevelika za većinu fotografa.



Slika 15. Videk MegaPlus Camera (1987.)



Slika 16. Fujix DS-1P (1988.)

No za razliku od Videkove kamere koja se koristila isključivo u znanstvene svrhe, i koja je trebala eksternu jedinicu za procesiranje signala kao i računalo za spremanje slika, **Fujix DS-1P** bio je prvi pravi digitalni fotoaparatus namijenjen širokom tržištu - prvi koji je snimao digitalne slike na izmjenjivu (SRAM - Static Random Access Memory) memorijsku karticu koju je proizvela tvrtka Toshiba. Cijena, još uvijek velika, \$20,000.

1.5. 90-te godine - Vrhunac digitalne revolucije i Internet boom

Ubrzanim razvojem informatičke tehnologije, koji je započeo u sedamdesetima izumom mikroprocesora (1971. Intel), računala su postala pristupačnija široj masi kupaca. Time su stvoreni temelji za proboj jeftinijih digitalnih fotoaparata.

Osnivanje grupe eksperata (MPEG - Moving Picture Expert Group i JPEG - Joint Photographic Experts Group) krajem 80-tih, koje su radile na razvoju i standardizaciji digitalnih formata zapisa slike, u 90-tima je počelo davati prve rezultate. Godine 1992. objavljen je prvi **JPEG standard**, format sa mogućnošću kompresije slikovnih i video zapisa, što je uvelike olakšalo njihovu pohranu, te omogućilo širenje fotografije putem sve popularnijeg Interneta.

Danas najveći internetski servis **World Wide Web** nastao je u CERN-u u Švicarskoj 1989. godine, a izmislio ga je Britanac Tim Berners-Lee. Prvi web preglednik **Mosaic** stvoren je 1993. Većina današnjih popularnih preglednika; Google Chrome, Internet Explorer, Mozilla Firefox, i dr. svoje grafičko sučelje temelje na originalnom Mozaicovom. Tih godina radi se i na razvoju programa za digitalnu obradu fotografija. Tako je 1990. prva inačica **Adobe Photoshop**-a ugledala svjetlo dana.

Tvrtka Kodak 1991. na tržište lansira **DCS 100** - prvi profesionalni DSLR fotografski sustav namijenjen fotoreporterima. Sustav se sastojao od Nikon F3 SLR tijela sa Kodakovim CCD 1.3MP senzorom. Slike su se spremale i obrađivale na tvrdom disku DSU (Digital Storage Unit) kapaciteta 200 MB. Taj disk je bio kabelom spojen sa fotoaparatom i obično se nalazio u posebnoj jedinici koju je fotograf morao nositi na ramenu ili oko struka, težine 5kg. Zbog visoke cijene (\$30,000) koristio se samo u profesionalne svrhe. Već iduće godine predstavljen je model DCS 200 koji je imao tvrdi disk integriran u dio koji se priključivao direktno na tijelo fotoaparata.



Slika 17. DCS 100 1990. (1.3 MP)



Slika 18. DCS 200 1992. (1.5 MP)

Tvrtka Fuji je u to vrijeme radila na kameri sa internom flash memorijom, te je 1993. na tržište izbacila **Fuji DS-200F**. To je fotoaparat koji je od posebnog značenja za razvoj digitalne fotografije, jer je riječ o prvoj kameri koja je spremala slikovne datoteke na flash memoriju kakva se danas praktički univerzalno koristi u svim digitalnim tijelima.

U vrlo brzom razvoju digitalne fotografije koji je uslijedio, značajna je bila 1994. kad se na tržištu pojavljuje **CompactFlash** (SanDisk i Kodak) prva komercijalna memorijska kartica za digitalne fotoaparate kapaciteta 2 MB. Tvrtka SanDisk tada je mudro postupila, jer je prenijela autorska prava na sve zainteresirane proizvođače memorijskih kartica i digitalnih fotoaparata, te je tako opstala na tržištu, a CompactFlash je postala najzastupljeniji tip kartice u prodaji i dan danas.

Rođenje komercijalne digitalne fotografije, namijenjene širokom tržištu, započinje krajem 90-tih pojavom prvih digitalnih fotoaparata od 2 MP, sa cijenom manjom od \$1,000. Veća kvaliteta i sve manja cijena, obećavale su uspješnu prodaju i time brz razvoj digitalne fotografije.

Neki od modela na tržištu tih godina:

1994. **Apple QuickTake 100** (0.3 MP) Fotoaparat je izradila tvrtka Kodak za Apple. Smatra se jednom od prvih komercijalnih digitalnih kamera koje su koristile jedan senzor za snimanje fotografija u boji. Mogla je snimiti 8 fotografija rezolucije 640x480 piksela. Bila je vrlo jednostavna za korištenje, za razliku od drugih modela digitalnih fotoaparata dostupnih na tržištu u to vrijeme. Cijena: \$795



Slika 20. Apple QuickTake 100 (1994.)

1995. na tržištu se pojavio **Casio QV-10**, prvi komercijalni digitalni fotoaparat sa 1,8-inčnim LCD ekranom u boji, kojim se moglo služiti i za kadriranje i za pregled snimljenih fotografija, za razliku od postojećih modela kojima su LCD zasloni služili samo za tekstualni prikaz funkcija. Imao je mogućnost rotiranja leće (dizajn koji su slijedećih deset godina kopirali gotovo svi proizvođači). Mogao je pohraniti 96 fotografija rezolucije 320x240 piksela na ugrađenu memoriju. Cijena: \$750



Slika 21. Casio QV-10 (1995.)

1995. **Ricoh RDC-1** bio je prvi digitalni fotoaparat koji je mogao snimati i video. Snimao je video sekvence sa zvukom u trajanju od 5 sekundi, pri 30 fps i rezoluciji od 768x480 piksela. Pohrana je bila u, tada novom, MPEG formatu zapisa. Osim toga, uređaj je

imao i 2,5-inčni LCD ekran na kojem se video mogao reproducirati, a postojala je i mogućnost spajanja na TV. Cijena: \$1500



Slika 21. Ricoh RDC-1 (1996.)

1999. na tržištu se pojavljuje **Nikon D1** (2.7 MP) prvi digitalni SLR model dizajniran i konstruiran u cijelosti u tvrtci Nikon, sa cijenom ispod \$6,000. Mnogi profesionalci koji su do tada radili sa klasičnim fotoaparatom, prešli su na digitalni, koristeći iste objektivne koje već imaju (Nikon F-mount objektivni).



Slika 23. Nikon D1 (1999.)

1.6. 2000-te godine - Početak kraja filma

Godine 2003. pojavljuje se **Canon EOS 300D**, poznatiji kao **Digital Rebel** (6MP), prvi digitalni SLR ispod \$1,000. Ovaj fotoaparat ima važnu ulogu u povijesti digitalne fotografije, jer je bio prvi cjenovno pristupačni digitalni SLR. Komercijalni uspjeh ovog modela potaknuo je i druge proizvođače da snize cijene svojih novih DSLR fotoaparata. Digitalni SLR nije više bio isključivo namijenjen profesionalcima. Od tog trenutka mnogi amateri prelaze na digitalne fotoaparate - započinje era digitalne fotografije!



Slika 24. Canon EOS 300D (2003.)

Od 2002. g. digitalni fotoaparati cijenom postaju konkurentni analognim modelima i po prvi puta bilježe prodaju veću od prodaje analognih fotoaparata. Padom prodaje analognih fotoaparata, pada i prodaja klasičnih fotomaterijala (filmova). Tijekom 2004. godine, neki od do tada vodećih proizvođača fotomaterijala gase svoje proizvodne

pogone i povlače se sa tržišta (npr. Agfa-Gevart, Konica-Minolta). Tvrtka Kodak (osnovana 1888.) primjerice, 2007.g. broji jednu trećinu zaposlenika koje je imala dvadeset godina ranije. Iako je Kodak bio pionir u mnogo segmenata vezanih za digitalnu fotografiju, početkom 2012. nalazi se pred bankrotom. Rasprodali su gotovo sve svoje patente u vrijednosti \$525,000,000. U rujnu 2013. izlaze iz stečaja.

Početak 2006. g. tvrtka Nikon objavila je da prestaje sa proizvodnjom svih svojih analognih modela fotoaparata, osim kompaktnog FM10 i profesionalnog SLR-a F6. Sličan primjer slijede i ostali vodeći proizvođači, koncentrirajući svoju proizvodnju isključivo na digitalne modele fotoaparata.

U trenutku kad je postalo očito da je digitalna tehnologija postala dominantna na oba tržišta (i profesionalne i amaterske opreme), težište razvoja usmjereno je na komponente koje mogu utjecati na povećanje kvalitete slike, što više nije isključivo pitanje broja megapiksela. Tehnička poboljšanja postignuta su u području optičkih stabilizatora slike koji pružaju nove mogućnosti snimanja u slabim uvjetima osvjetljenja, većim formatima LCD monitora na tijelima fotoaparata, procesorima koji omogućuju brže i preciznije procesiranje slike, kao i u domeni izmjenjivih objektivna. Povećanjem rezolucije i sveprisutnijim trendom snimanja u RAW formatu (sa velikim slikovnim datotekama), ubrzano se radi i na usavršavanju memorijskih kartica. Pojavljuje se nova generacija memorijskih kartica pod nazivom SDHC, koje omogućuju pohranu do 32 GB na karticu manju od poštanske marke.



2007. Canon je predstavio svoj novi digitalni SLR namijenjen profesionalcima EOS-1Ds Mark III, rezolucije 21 MP. Uz 14-bitnu razlučivost koju donosi CMOS senzor punog formata, stvara datoteke koje je moguće pretvoriti u nekomprimirane 16-bitne TIFF datoteke veće od 100 MB (što postaje novi standard u razlučivosti i oštrini slike u segmentu profesionalne digitalne fotografije). Osim što izvrsno reproduciraju boje, procesori Dual DIGIC III omogućuju uzastopno snimanje od 5 snimki u sekundi.

Slika 25. Canon EOS-1Ds (2007.)

1.7. Trendovi u posljednjih nekoliko godina (2010-2015)

Konvergencija video i foto uređaja

Nastavlja se proces razvoja tehnologija koji omogućava smještanje funkcija fotografiranja i snimanja videa u jedan uređaj. Video kamere postaju fotoaparati, a fotoaparati postaju video kamere. Neki uređaji mogu i snimati i fotografirati istovremeno. Iz videa je moguće napraviti pojedinačne fotografije (video *snapshots* ili *stills grabs* funkcija). Snimanje Full HD videa u rezoluciji od 1920 x 1080 piksela postalo je moguće i sa kompaktnim fotoaparatima, dok se kod profesionalnih kategorija

fotoaparata sve češće javlja mogućnost snimanja Ultra HD videa - rezolucija videa u komercijalne svrhe nazvana 4K (3840 x 2160). Iz videa ovako velike rezolucije moguće je izdvojiti vrlo kvalitetne pojedinačne fotografije rezolucije 8 MP. Primjer fotoaparata koji nudi snimanje videa u 4K rezoluciji su dva „mirrorless“ fotoaparata: Panasonic Lumix GH4 i Samsung NX1 iz 2014. godine.

Porast udjela „mirrorless“ fotoaparata na tržištu

Nova kategorija fotoaparata koja se na tržištu pojavila 2008. godine, kompaktni fotoaparati s izmjenjivim objektivima koji nemaju preklopno zrcalo u tijelu, pa se mogu proizvoditi sa značajno manjim dimenzijama od SLR fotoaparata. Koriste veće senzore nego kompaktni fotoaparati, pa im je kvaliteta vrlo visoka, a cijenom su prihvatljiviji od SLR, što je utjecalo na njihovu sve veću popularnost. Njihova zastupljenost na tržištu svake je godine sve veća. Podatak sa Photokine (najvećeg svjetskog sajma foto i video opreme) govori da je 2013. godine prvi puta bilo predstavljeno više „mirrorless“ modela fotoaparata od SLR-a.

Razvoj objektivna manjih dimenzija

Paralelno sa trendom smanjivanja dimenzija fotoaparata, javlja se i trend smanjivanja objektivna. Ubrzano se radi na razvoju novih, sklopivih objektivna (*collapsible lenses*).

Senzori punog formata sve češći

Senzori punog formata (24 x 36 mm) koji su nekad bili samo u ponekim profesionalnim SLR fotoaparatom, od 2012.-te godine sve su prisutniji i u jeftinijim verzijama poluprofesionalnih SLR fotoaparata, pa čak i u kategoriji „mirrorless“ fotoaparata (Sony Alpha a7 II) i u kategoriji kompaktnih fotoaparata (Sony Cyber-shot DSC-RX1).

Primjetan je i pomak prema korištenja većih senzora ali sa manjim brojem piksela. Pikseli su tako veći i osjetljiviji na svjetlo, pa je i kvaliteta fotografija bolja.

Pojava dronova

Za fotografiranje iz zraka više nije potreban helikopter ili avion, dovoljan je dron. Na tržištu fotografske opreme 2015. godine pojavljuje se nekoliko modela dronova. Neki



od njih imaju ugrađenu kameru koja je sposobna snimati video u 4K rezoluciji ili 12MP fotografije u RAW formatu (slika), dok je na druge moguće pričvrstiti bilo koji fotoaparatus. Većina koristi daljinski za upravljanje, a postoje i modeli kojima se upravlja putem aplikacije na pametnom telefonu.

Slika DJI T600 Inspire 1

Razvoj Multi-image tehnologije

Svi najnoviji fotoaparati (Canon, Nikon, Fuji, Olympus, Ricoh) koriste multi-shot tehniku snimanja nekoliko uzastopnih fotografija koje se kasnije integriraju u jednu. Također radi se na poboljšanju softvera za procesiranje fotografija u samom fotoaparatu. Fotografije sa smanjenim šumom kod slabih svjetlosnih uvjeta (“Night landscape multi-shot mode” Ricoh CX4, Sony Cybershot TX9). Bolja kontrola fokusa (“Pro Focus” opcija kod Fujifilm kompaktnih kamera). Podešavanje tonkog raspona tako da se ne gube

detalji u svijetlim i tamnim područjima ("HDR mode"). Panoramske fotografije ("Sony Sweep Panorama" opcija). Fotoaparati sa GPS sustavom (geotagging).

Povezivanje fotoaparata s Internetom

Ovaj trend započeo je 2012., a uzrok mu je porast popularnosti fotoaparata na pametnim telefonima koji kradu dio kupaca. Canon je to riješio ugrađivanjem Wi-Fi čipa koji se ponaša kao router (na svim svojim modelima fotoaparata od kompakta do SLR-a), Nikon je dodao posebni modul s podrškom za Wi-Fi, a Olympus korištenjem SD kartice koja se ponaša kao Wi-Fi router. Radi se i na razvoju automatskog pohranjivanja snimljenih fotografija u oblaku, čime bi se omogućila dostupnost bilo s kojeg mjesta i putem bilo kojeg uređaja, uz automatizirano tagiranje, sortiranje i kategoriziranje.

Literatura i linkovi:

Campbell-Swinton, A. A. (18 June 1908). "Distant Electric Vision (first paragraph)". Nature 78 (2016): 151. doi:10.1038/078151a0

<http://www.digicamhistory.com/>

<http://patapco.nist.gov/ImageGallery/details.cfm?imageid=342>

<http://www.ipwatchdog.com/2014/10/28/the-evolution-of-digital-cameras-a-patent-history/id=51846/>

http://www.nist.gov/public_affairs/releases/image_052407.cfm

<http://www.dpreview.com/articles/5778663183/ten-unique-cameras-from-the-dawn-of-consumer-digital-photography>

[http://www.digicammuseum.com/en/history_W.S.Boyle_i_G.E.Smith_\(travanj_1970\). "Charge Coupled Semiconductor Devices". Bell Sys. Tech. J. 49 \(4\): 587-593.](http://www.digicammuseum.com/en/history_W.S.Boyle_i_G.E.Smith_(travanj_1970).\)

<http://www.digitalcameraworld.com/2015/01/21/camera-technology-photography-2015/>

2. DIGITALNI FOTOGRAFSKI SUSTAV

2.1. Kategorije digitalnih fotoaparata

2.1.1. Kompaktni fotoaparati

2.1.2. SLR - zrcalno refleksni fotoaparati

2.1.3. CSC - fotoaparati bez zrcala

2.1.4. Studijske kamere srednjeg i velikog formata

2.1.5. Kamere na pametnim telefonima

2.2. Princip rada i osnovni dijelovi digitalnog SLR fotoaparata

2.3. Kako nastaje digitalna slika

2.4. Senzor za bilježenje slike

2.4.1. Vrste i princip rada senzora

2.4.2. Formati senzora

2.4.3. Rezolucija senzora

2.4.4. Spektralna osjetljivost senzora

2.4.5. Osjetljivost senzora i šum

2.4.6. Dinamički raspon senzora

2.5. A/D pretvornik i dubina bita

2.6. Procesor

2.7. Objektiv

2.7.1. Konstrukcija objektiva

2.7.2. Žarišna duljina i vidni kut

2.7.3. Utjecaj formata senzora na promjenu žarišne duljine

2.7.3.1. Faktor izrezivanja i ekvivalentna žarišna duljina

2.7.4. Osnovna podjela objektiva

2.7.4.1. Srednji ili standardni objektiv

2.7.4.2. Širokokutni objektiv

2.7.4.3. Teleobjektiv

2.7.4.4. Zoom objektiv

2.7.4.5. Objektiv za specijalne namjene

2.7.5. Greške leća i objektiva

2.7.6. Kvaliteta objektiva i MTF graf

U ovom poglavlju...

kategorizacija digitalnih fotoaparata, princip rada, te opis najvažnijih tehničkih komponenti (dijelova) digitalnog fotografskog sustava koje utječu na kvalitetu digitalno snimljene slike.

2.1. Kategorije digitalnih fotoaparata

Donedavno su na tržištu fotografske opreme najzastupljenije bile tri osnovne kategorije: **kompaktni fotoaparati** (amaterska kategorija najnižeg cjenovnog razreda, malog kućišta, sa ugrađenim objektivom), **zrcalno-refleksni** ili tkz. **SLR** - *single lens reflex* fotoaparati (profesionalna kategorija srednjeg cjenovnog razreda, mogućnost izmjene objektiva, kvalitetnija izrada) i **studijski fotoaparati** (profesionalna kategorija najvišeg cjenovnog razreda, specijalizirane namjene, senzor velikog formata, najviša rezolucija, najbolja kvaliteta digitalno snimljene slike).

Razvojem tehnologije, ove osnovne kategorije dobile su mnogo varijacija, a pojavile su se i neke nove kategorije fotoaparata: **fotoaparati na pametnim telefonima**, kao i **CSC** - *compact system camera* (fotoaparati bez zrcala). Ove dvije kategorije su danas najbrže rastuće kategorije fotoaparata na tržištu fotografske opreme (podatak sa Photokine 2014). Razlog velike rascjepkanosti kategorija leži u činjenici da proizvođači fotografske opreme sve češće rade fotoaparate prema određenoj namjeni, odnosno prema potrebama ciljane grupe korisnika.

2.1.1. Kompaktni fotoaparati

Zajedničko većini fotoaparata iz ove kategorije je to da su malih dimenzija i težine, da imaju ugrađeni objektiv promjenjive žarišne duljine koji se može uvlačiti u tijelo aparata kad nije u uporabi, te da imaju ugrađenu bljeskalicu. Ovi fotoaparati nemaju optičko tražilo, već se kadriranje vrši pomoću LCD zaslona. Nude pohranu fotografija samo u JPEG formatu. Mogućnosti za kreativno snimanje su ograničene na upotrebu uglavnom automatskih funkcija, koje pri dobrim svjetlosnim uvjetima daju korektno rezultate. No zbog malog senzora i objektiva slabije kvalitete, teže se nose sa snimanjem pri slabijem svjetlu, protusvjetlu, jakim sjenama i drugim netipičnim uvjetima snimanja. Tad najviše do izražaja dolazi njihova manja kvaliteta naspram drugih kategorija fotoaparata, osim fotoaparata na pametnim telefonima koje također muče slični problemi. Njihova je najveća prednost kompaktnost, praktičnost, jednostavnost korištenja i niska cijena.



Na slici 26. je kao primjer najnovijih mogućnosti fotoaparata iz ove kategorije prikazan Nikon Coolpix L32, sa 20.1 MP senzorom (veličine 1/2.3") i ugrađenom podrškom za Wi-Fi i NFC. Ima 15 modova snimanja, te mogućnost snimanja 720p HD videa. Ima objektiv sa 5x optičkim zoomom i 3.0-inch LCD ekran. Dimenzijama je manji od prosječnog pametnog telefona, težine svega 165g.

Slika 26. Nikon COOLPIX L32 (2015.) cijena cca \$100

2.1.1.1. Napredni kompaktni fotoaparati

U zadnje vrijeme, sve je više kompaktnih fotoaparata koji nude veće mogućnosti kontrole postavki, pa više nije neobično da na malom kompaktu postoji opcija ručnog podešavanja ekspozicije (*manual mode*), uz već uobičajene mogućnosti kontrole bljeskalice, te određivanja moda snimanja (makro, sport, pejzaž, portret, noćno snimanje). Imaju opciju snimanja HD videa, te vrlo često i *hotshoe* konektor za pričvršćivanje vanjske bljeskalice. Kompaktni fotoaparati koriste centralni tip zatvarača koji se nalazi unutar objektivu. Prednost takvog zatvarača u usporedbi sa zavjesnim (*focal-plane*) koji se koristi kod SLR fotoaparata, je ta da su kod okidanja puno tiši, te da omogućuju sinkronizaciju sa bljeskalicom pri svim brzinama zatvarača. Osim u JPEG formatu, neki modeli nude mogućnost spremanja u RAW formatu. Objektivu su kod većine modela dosta kvalitetniji i svjetlosno jaki (sa otvorom zaslona $f/2.8$), no radi njihove konstrukcije i veličine ne mogu se više uvući u kućište aparata. Radi toga su ovi kompakti većih dimenzija od onih iz prethodnog poglavlja, no pružaju gotovo jednaku jednostavnost korištenja uz značajno bolju kvalitetu.



Sony RX 100 III prikazan na slici, predstavlja jedan od najkvalitetnijih novih kompaktnih fotoaparata. Ima senzor veličine 1", rezolucije 21MP. Objektiv mu je vrlo kvalitetan zoom, žarišne duljine 24 - 70 mm, zaslona $f/1.8 - f/2.8$. Ima mogućnost RAW zapisa slike, elektroničko tražilo, te mogućnost snimanja 1080p HD videa. Također ima podršku za Wi-Fi i NFC. Težina mu je 290g.

Slika 27. Sony Cyber-shot DSC-RX100 III (2015.) cijena cca \$850

2.1.2. SLR - zrcalno refleksni fotoaparati

Kategorija SLR - *Single Lens Reflex* fotoaparata sa optičkim tražilom i izmjenjivim objektivima, prisutna je na tržištu fotografske opreme već više od 50 godina. Kao što će biti detaljnije prikazano u poglavlju 2.2. osnovni princip rada ostao je isti i kod digitalnih SLR fotoaparata. Prednost SLR sustava sa optičkim tražilom je da nema greške paralakse¹, budući da se u tražilo skreće isti svjetlosni snop koji će formirati sliku na senzoru, što doprinosi preciznom kadriranju snimane scene.

Ono što u najvećoj mjeri svrstava ovu kategoriju u kategoriju poluprofesionalnih i profesionalnih fotoaparata je njihova tehnička kvaliteta izvedbe, veliki senzori, bogat izbor kvalitetnih izmjenjivih objektivu, potpuna kontrola svih postavki uz velik broj posebnih opcija, brzo i precizno izoštravanje, snimanje u RAW formatu i dr. Osim što nude veću rezoluciju, veći senzori omogućuju dobivanje fotografija sa boljim

¹ Paralaksa (grč.) je prividna promjena položaja objekta uzrokovana promjenom položaja promatrača. To je pojava koja označava razliku između dvije točke gledišta, npr. između onoga što vidimo u tražilu i onoga što će se zabilježiti na senzoru. Zbog greške paralakse slika u tražilu će biti pomaknuta u odnosu na sliku koju objektiv projicira na senzor.

dinamičkim rasponom i manjim šumom, pogotovo u uvjetima slabijeg osvjetljenja. Glavni nedostatak im je veća cijena, složenija upotreba i znatno veća težina opreme.



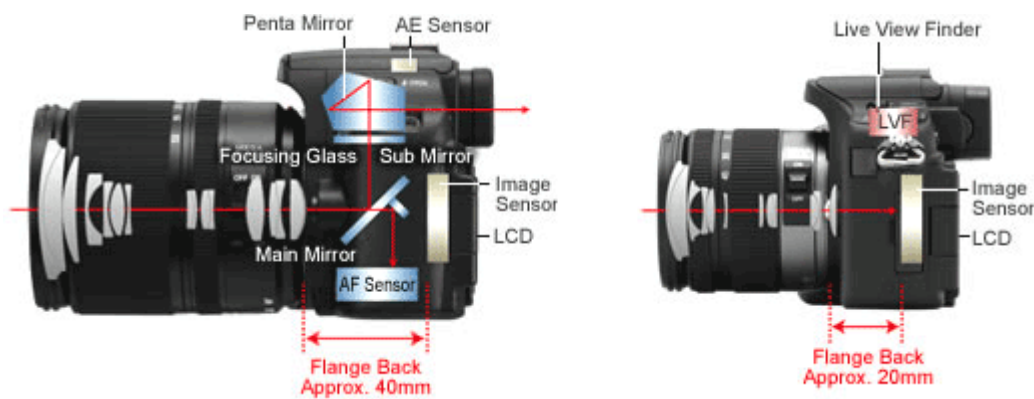
Kao primjer profesionalnog SLR fotoaparata, na slici prikazan je Canon EOS 5DS sa CMOS senzorom punog formata i rezolucijom od čak 50MP. Osnovna namjena ovog najnovijeg Canonovog modela je studijsko snimanje i svako drugo koje zahtjeva veliku rezoluciju (za potrebe velikih povećanja snimljenih fotografija).

Slika 28. Canon EOS 5DS (2015.) cijena cca \$3.700 (samo tijelo)

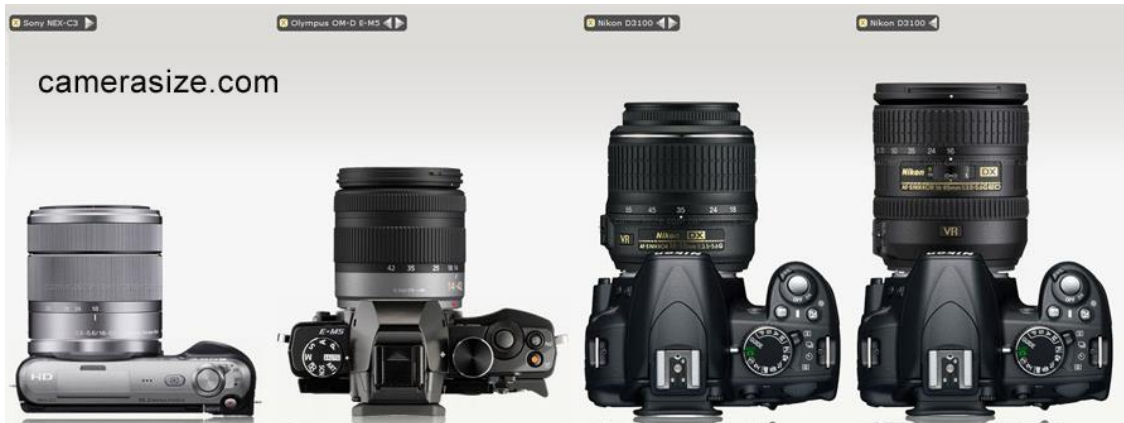
2.1.3. CSC - fotoaparati bez zrcala

Nova kategorija fotoaparata, CSC - *Compact System Camera*, koja se još naziva i „mirrorless“ kamera, pojavila se na tržištu 2008. godine i našla svoje mjesto između kompaktnih i SLR fotoaparata. Dijeli neke sličnosti sa obje kategorije. To su zapravo kompaktni fotoaparati sa izmjenjivim objektivima. Od SLR fotoaparata se razlikuju po konstrukciji, jer nemaju zrcalo, prizmu i optičko tražilo, već se slika kadrira putem elektroničkog tražila ili/i LCD zaslona, kao kod kompaktnih fotoaparata. To mu omogućuje manje dimenzije kućišta na koje se pričvršćuju manji objektiv. Također, postoje i adapteri koji omogućuju korištenje objektiv SLR sustava. Na slici je prikazana razlika u konstrukciji, a na slici razlika u veličini SLR i CSC fotoaparata. Osim navedenog, razlika između ova dva tipa fotoaparata je i u sustavu za automatsko fokusiranje, koje je kod SLR fotoaparata preciznije i brže.

Sličnost sa SLR kategorijom fotoaparata je, osim u izmjenjivim objektivima, i u tome što koriste velike senzore (1“, Four Thirds, APS-C, pa čak i senzor punog formata). Također, pružaju veliku kontrolu nad funkcijama fotoaparata, ručno podešavanje elemenata ekspozicije, RAW format zapisa i dr.



Slika razlika u konstrukciji SLR i CSC fotoaparata



Slika razlike u veličini CSC i SLR fotoaparata

2.1.4. Studijske kamere srednjeg formata

Usko specijalizirani profesionalni fotografi koji se bave studijskim snimanjem (produkt fotografija, fotografija hrane, modna i sl.) znaju za prednosti snimanja sa tkz. kamerama srednjeg formata. Naziv je ostao iz vremena analogne fotografije i označavao je format filma koji se koristio (120 mm širine role, formati: 60x45 mm, 60x60 mm, 60x70 mm). Na tržištu digitalnih fotoaparata prvi put su se pojavili 1992. kao digitalna leđa (*digital camera back*) sa elektroničkim sensorom, kad je tvrtka Leaf predstavila svoj DCB model koji se montirao na Sinarovu studijsku kameru. Desetak godina kasnije, pojavom sve kvalitetnijih SLR fotoaparata, udio kamera srednjeg formata na tržištu počeo je značajno opadati. Neke kompanije poput Bronica i Contax prestale su sa proizvodnjom svojih srednjeformatnih kamera, dok su se druge integrirale da bi opstale. Tako se tvrtka Hasselblad udružila se Imacon-om i započela suradnju sa Fuji-em. Tvrtka Mamiya se udružila sa proizvođačem digitalnih leđa tvrtkom Phase One. Na tržištu su također prisutni digitalni modeli kamera srednjeg formata tvrtki Leaf i Pentax. Svi ti modeli su do 2014. godine koristili isključivo CCD senzore. Te godine pojavili su se prvi fotoaparati srednjeg formata sa CMOS sensorom. Najčešća rezolucija tih modela je cca 50MP. Radi sve manje razlike u kvaliteti, a velike razlike u praktičnosti i cijeni, profesionalci sve češće prelaze na SLR kategoriju fotoaparata.



Na slici je prikazan najnoviji digitalni sustav srednjeg formata Phase One XF. Sastoji se od IQ3 digitalnih leđa sa 80MP CCD sensorom sa 13EV dinamičkog raspona, prizme (tražilo), 80mm Schneider objektiv i Capture One 8.3 softvera. Cijena cijelog sustava: \$48.990

Slika Phase One XF (2015.)

2.1.5. Fotoaparati na pametnim telefonima

Trend dijeljenja fotografija putem Interneta i na društvenim mrežama jedan je od glavnih razloga sve češćeg korištenja mobitela kao fotoaparata. Ti multifunkcionalni uređaji uvijek su pri ruci, mali su i lagani, jednostavni za korištenje i stalno spojeni na Internet. Kvaliteta senzora, optike i procesora u novim modelima pametnih telefona sve je veća. A veća je i ponuda raznih dodataka za snimanje mobitelom, kao što su razni objektiv koji se pričvršćuju na kameru mobitela, stativi i popularni *selfie* štap.

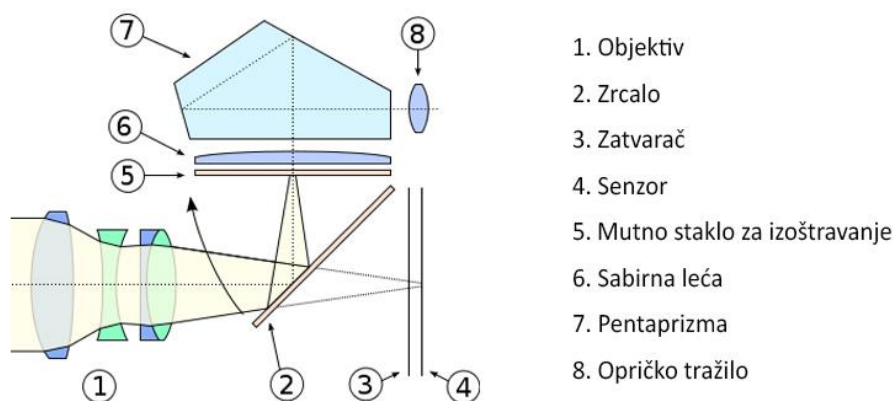


Kamera na pametnom telefonu Samsung Galaxy S6 Edge, slovi za najkvalitetniju na tržištu u ovoj kategoriji. Ima 16MP 1/2.6-inch CMOS senzor, objektiv sa velikim otvorom zaslona od f/1.9. Također, ima brz autofokus i optičku stabilizaciju slike koja pomaže pri dobivanju oštre fotografije pri sporijim brzinama ekspozicije. Zahvaljujući infracrvenom senzoru pruža vjeran prikaz boja i odličan balans bijele. Može snimati video u 4K rezoluciji.

Slika Samsung Galaxy S6 Edge (2015.)

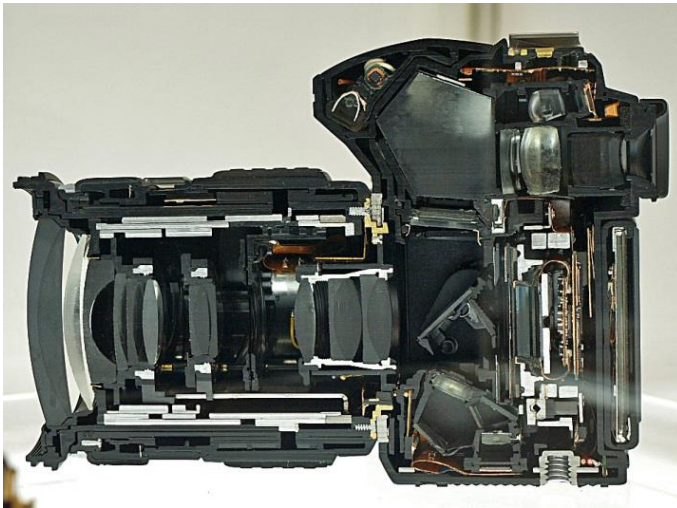
2.2. Princip rada i osnovni dijelovi digitalnog SLR fotoaparata

Osnovni princip rada SLR fotoaparata ostao je nepromijenjen već više od pola stoljeća. Jedina bitna promjena je medij za bilježenje slike; nekoć je to bio film, a danas na isto mjesto dolazi senzor. Kratica SLR - *Single Lens Reflex* odnosi se na sustav optičkog tražila. Taj sustav sastoji se od pokretnog zrcala koje reflektira svjetlo koje prolazi kroz objektiv i pentaprizme koja to svjetlo usmjerava na tražilo. Zahvaljujući zrcalu koje se nalazi iza objektivu u tijelu fotoaparata i pentaprizmi koja je postavljena iznad zrcala, kroz tražilo je vidljiv točno onaj kadar koji će se zabilježiti na senzoru. Pritiskom na okidač zrcalo se podiže i propušta svjetlo iz objektivu na senzor. U tom trenutku eksponiranja senzora, slika se više ne može vidjeti u tražilu. Zato se kod snimanja videa, kad zrcalo ostaje podignuto tijekom cijelog snimanja, kadriranje vrši putem *Live View* opcije na LCD zaslonu, a ne kroz optičko tražilo.



Slika Presjek optičkog sustava SLR fotoaparata

U objektivu se nalazi pomični otvor koji se naziva zaslon (blenda) koji kontrolira količinu i kut svjetla koje će doći do senzora. Ovisno o otvoru zaslona, proći će manje ili više svjetla, u oštrom ili manje oštrom kutu. Zato je veličinom otvora zaslona moguće kontrolirati dubinsku oštrinu na fotografiji. To će dodatno biti objašnjeno u poglavlju o objektivima 2.7. Prije osvjetljavanja senzora, otvara se zatvarač koji se nalazi neposredno ispred senzora. Dužina ekspozicije označava vrijeme koliko je zatvarač otvoren. Najčešće se mjeri u dijelovima sekunde; od velikih brzina zatvarača npr. $1/4000s$ (jedna četiri-tisućinka sekunde) do malih brzina npr. $1/4$ sekundi.

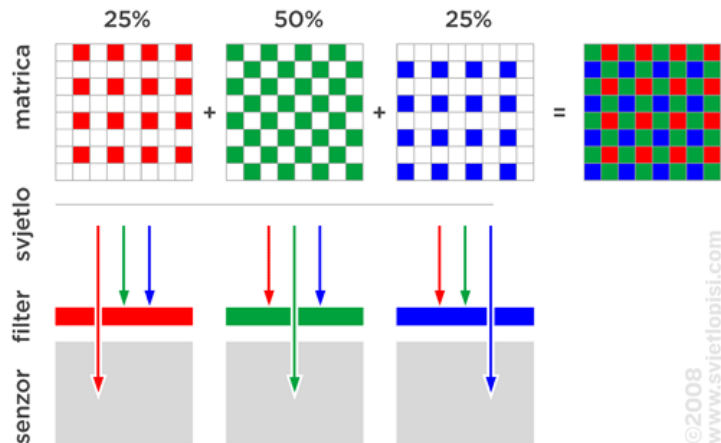


Slika Presjek kroz SLR fotoaparata

2.3. Kako nastaje digitalna slika

Način na koji digitalni fotoaparata „vidi“ sliku najbolje bi se mogao usporediti s ljudskim vidnim sustavom. Dok su se klasični fotoaparati, koristeći film, temeljili na principu ljudskog oka, digitalni fotoaparata, otišao je puno dalje u svojoj kompleksnosti. Naime, ni ljudi ne vide sliku samo svojim okom. Ljudski aparat za gledanje slike, odnosno svijeta, zapravo je mozak. Oko služi tek kao alat mozga, leća koja kroz sebe propušta svjetlost i odvodi ju do elektronskog čipa, u našem slučaju malenih optički osjetljivih „čunjića“, koji upravo kao i senzor fotoaparata pretvaraju svjetlost u električne impulse i šalju mozgu informacije o količini crvenog, zelenog i plavog svjetla. Osim „čunjića“, u oku se nalaze i „štapići“ koji registriraju plavi i zeleni dio spektra, a kako su osjetljivi na slabije svjetlosne uvjete mogu se usporediti i sa *white balance* (prikaz bijele boje) postavkom oka. Poput CMOS čipa, tu se razabiru signali, čiste se od šuma i nepotrebnih informacija, te se informacije šalju putem živčanog sustava prema mozgu, koji ih obrađuje i slaže u smislenu informaciju. Digitalni fotoaparata čini gotovo identičnu stvar. Svjetlo kroz objektiv dolazi na senzor. Senzor uzima u obzir vrijednosti osjetljivosti i propušta signal do sljedeće faze, odnosno interpolacije Bayerovog uzorka, koja će odvojiti signal na osnovne tri RGB boje –crvenu, zelenu i plavu, odnosno odraditi posao „štapića“ i „čunjića“ iz oka. Dr. Bayer iz kompanije Kodak izmislio je filter matricu, tj. shemu rasporeda R-G-B filtera u matrici, po kojoj bi svaki od elemenata trebao propustiti samo jednu od tri RGB komponente. Po ovoj shemi 50% filtera propušta samo zelenu (G), a po 25% crvenu (R) i plavu (B) komponentu upadnog svjetla.

Razlog za dominaciju zelene komponente leži dijelom u činjenici da ljudsko oko može prepoznati mnogo više u zelenom dijelu spektra, a dijelom i zbog toga što zelena boja pokriva najvažniji dio vidljivog spektra. U prirodi ljudskog oka je da ono mnogo bolje reagira na kontrast nego na boje, tj. mnogo bolje će reagirati na razliku između svijetlog i tamnog nego na razliku između dvije boje. Sve to su elementi na kojima je zasnovan ovaj prilično složen koncept. Na ilustraciji koja slijedi prikazan je raspored filtara u Bayerovoj matrici² (slika 2):



Slika Raspored filtara u Bayerovoj matrici (Wikipedia)

Vidljivo je da svaka od komponenti matrice tj. svaki piksel, bez obzira koji je filter iznad njega, primi samo trećinu informacije. Da bi se odredila stvarna boja tog piksela, potrebno je napraviti interpolaciju na Bayerovom uzorku. Svaka ćelija na senzoru tj. piksel pojedinačno registrira samo intenzitet svjetla koje je palo na njega. Tek naknadno, uzimajući u obzir vrijednosti okolnih piksela i njihovu poziciju u filter matrici, određuje se i boja tog piksela. Ovaj princip nazivamo Bayerovom interpolacijom.

Nakon interpolacije Bayerovog uzorka procesiraju se podaci o balansu bijele boje, zasićenosti boje, oštini, kontrastu, itd. Ukoliko se radi o TIFF formatu zapisa slijedi zapisivanje gotovih informacija na karticu, ili prije toga kompresija - ako se radi o JPEG formatu. Ukoliko se radi o RAW formatu zapisivanje podataka na memorijsku karticu uslijedilo je već nakon prve faze, u kojoj je aparat u informaciju sa senzora dodao podatke o osjetljivosti. Svi ostali koraci preskočeni su, a podaci su ostali doslovno sirovi i neobrađeni te ostavljeni kako bi se njima kasnije po volji moglo manipulirati u nekom od RAW konvertera na računalu.

2.4. Senzor za bilježenje slike

Senzor je tehnička komponenta - srce svakog digitalnog fotoaparata, koja je najodgovornija za postignutu kvalitetu snimljene slike. On ima ulogu fotografskog filma, prihvaća fotone upadne svjetlosti koji su se reflektirali od objekta snimanja i pretvara ih u električni signal (naboj) koji se zatim, putem A/D pretvornika, pretvara u

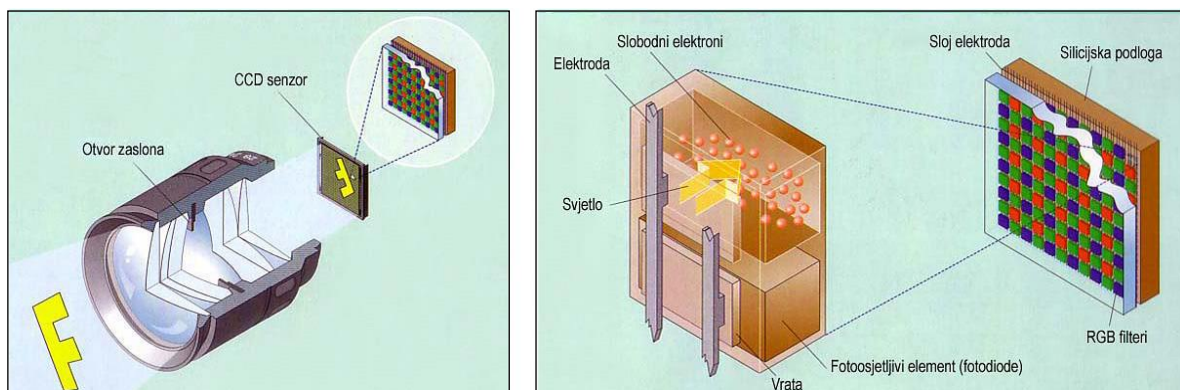
² Bayerova matrica još se u literaturi naziva i **Bayerov mozaik** i **CFA (color fliter array)**

digitalni signal pogodan za pohranu i obradu na računalu. U različitim modelima digitalnih fotoaparata, nalaze se senzori koji se razlikuju po principu rada, formatu, rezoluciji, kao i po spektralnoj osjetljivosti. Kako o tim faktorima najviše ovisi kvaliteta snimljene slike, važno ih je dodatno objasniti.

2.4.1. Vrste i princip rada senzora

Većina današnjih digitalnih fotoaparata koriste CCD (*Charge Coupled Device*) senzor ili CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) senzor.

CCD senzori su i dalje najzastupljeniji među sensorima za bilježenje slike. Proizvode se slično kao i integrirani krugovi, na tankim silicijskim pločicama. Kada foton udari u atom silicija koji se nalazi u blizini fotoosjetljivog elementa senzora (fotodiode), stvorit će se slobodni elektron, ali i "rupa" kao posljedica privremenog manjka elektrona u kristalnoj rešetci silicija. Slobodni elektroni se prikupljaju u udubinama potencijala (smještene su duboko unutar silicija u području koje se zove sloj za ispražnjivanje), dok se "rupa" pod pritiskom udaljava od udubine. Pojedinačne fotodiode električno su izolirane od susjednih pomoću zaustavnog kanala koji se sastoji od posebno obrađenih iona bora. Nakon što su sve fotodiode u mreži prikupile elektrone, naponski potencijal se usmjeruje na sloj polisilicijskih elektroda (tzv. vrata) kako bi se promijenio elektrostatski potencijal silicija koji se nalazi ispod. Silicijska podloga koja se nalazi direktno ispod "vrata" tada postaje udubina potencijala koja je u mogućnosti prikupljati elektrone koji su stvoreni na tom mjestu pod utjecajem upadnog svjetla. Susjedna "vrata" pomažu u omeđivanju elektrona unutar udubina stvaranjem područja višeg potencijala (tzv. barijere), koja okružuju udubine.



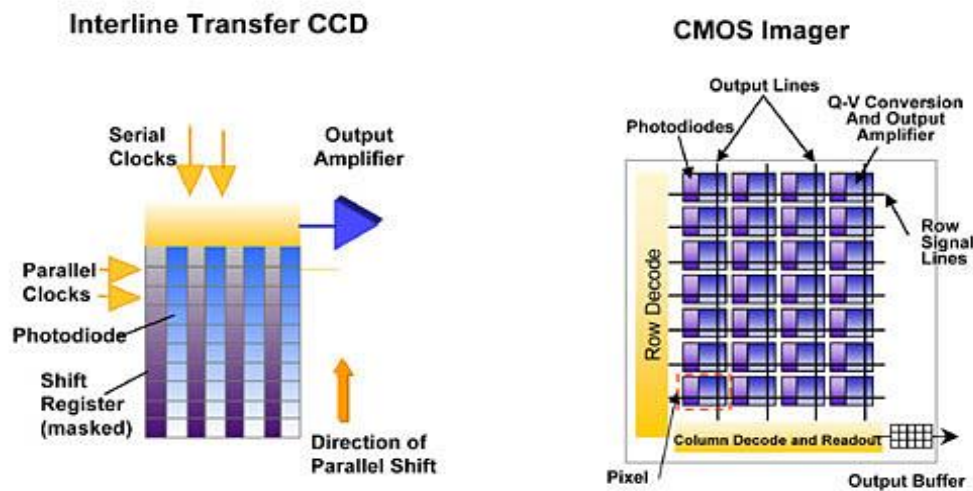
Slika Princip rada i građa CCD senzora

Najčešći oblici građe CCD senzora imaju nizove "vrata" koji dijele svaki piksel na trećine pomoću tri udubine potencijala koje su orijentirane u vodoravni red. Nakon osvjetljavanja fotonima, udubine potencijala na mreži fotodioda postaju ispunjene elektronima koji su stvoreni u sloju za ispražnjivanje silicijske podloge. Mjerenje ovih pohranjenih naboja se postiže kombinacijom serijskih i paralelnih prijenosa akumuliranog naboja na jedan izlazni čvor na rubu čipa. Nakon poprečnog prijelaza preko mreže registara paralelnih prebacivanja položaja, naboj dopijeva do

specijaliziranog reda "vrata" koji se zove registar serijskih prebacivanja položaja. Ovdje se skupine elektrona koje predstavljaju svaki piksel slijedno prebacuju na izlazno pojačalo i izvan čipa. Čitavi sadržaji vodoravnog registra se prenose na izlazni čvor prije nego što se napune sa nabojima iz slijedećeg reda paralelnog registra. U izlaznom pojačalu skupine elektrona daju iznos naboja koji su stvorile uzastopne fotodiode, sa lijeva na desno u jednom redu, počevši sa prvim i tako do zadnjega. Tako se stvara analogni sken naboja koji je stvoren pomoću svjetlosti sa cijele dvodimenzionalne mreže fotodioda na senzoru.

U svojoj osnovi, senzori za bilježenje slike moraju ostvariti 5 zadataka: apsorbirati fotone, stvoriti naboj od tih fotona, prikupiti naboj, prenijeti naboj i pretvoriti ga u napon struje. I CCD i CMOS senzori izvode svih 5 zadataka. Prva tri se izvode podjednako, ali se njihove metode prijenosa i pretvorbe naboja razlikuju.

CMOS senzori mogu samostalno obaviti više funkcija nego CCD senzori. Osim pretvaranja fotona u elektrone i njihovog prebacivanja, CMOS senzori mogu izvoditi i obradu slike, smanjivanje šuma te analogno-digitalnu pretvorbu. Nadalje, konstruktori senzora i digitalnih fotoaparata mogu različite funkcije senzora izvesti programiranjem što kao rezultat daje vrlo fleksibilan uređaj. Upravo je ta funkcionalna integracija na jednom senzoru glavna prednost nad CCD sensorom. Time se smanjuje i broj potrebnih vanjskih komponenti (procesor digitalnog signala, analogno-digitalni pretvarač) pa se tako u digitalnom fotoaparatu njima treba ostaviti manje prostora. Osim toga CMOS senzori troše manje struje od CCD senzora što rezultira manjim zagrijavanjem i manjim termalnim šumom.

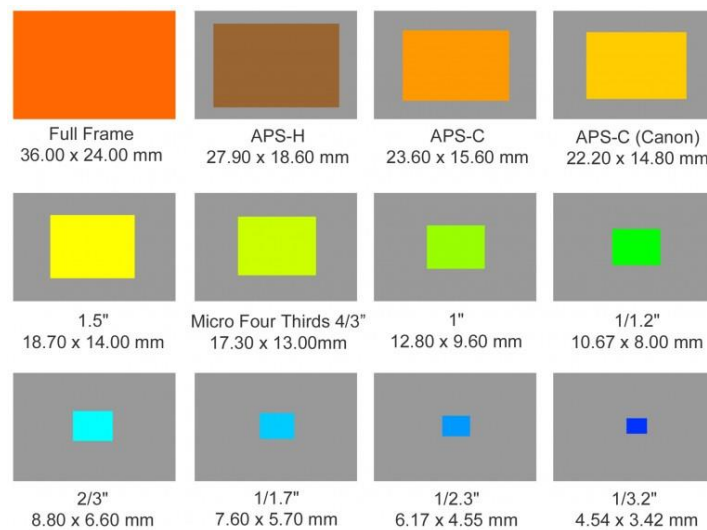


Slika Shema međulinijiskog CCD senzora (a) i CMOS senzora (b)

CMOS senzori se, osim u digitalnim fotoaparatima, upotrebljavaju u nizu drugih uređaja. Zbog toga je njihova proizvodnja standardizirana i jeftinija. Veliki napredak na polju digitalne fotografije se dogodio 1993. godine kada su stručnjaci NASAe uspješno primijenili tehnologiju senzora sa aktivnim pikselima (SAP). Ta se tehnologija poznavala desetljećima u teoriji, ali do tada nije bila uspješno primijenjena. SAP tehnologija dodaje tranzistorsko pojačalo za očitavanje na svaki piksel. To omogućuje pretvorbu naboja u napon kod svakog pojedinog piksela, ali i pruža nasumični pristup svim pikselima na senzoru. Očitavanje naboja sa SAP CMOS senzora se obavlja paralelnim

krugom koji dopušta direktni pristup signalu sa pojedinačnih piksela ili stupaca piksela. Takav direktni pristup omogućuje CMOS senzoru da inteligentnije izabire grupe piksela za očitavanje, a ne cijelu mrežu senzora odjednom. Također je omogućeno i potencijalno povećanje brzine očitavanja u odnosu na CCD senzor koji mora "skinuti" sav naboj kroz jedan vodoravni registar za prebacivanje. No, zbog svog tog dodatnog elektroničkog sklopovlja na samom senzoru, CMOS senzori obično imaju velikih problema sa šumom, jer je sva ta pojačala teško međusobno uskladiti. Trenutno se vrše istraživanja sa ciljem smanjenja šuma i drugih primijećenih nedostataka.

2.4.2. Formati senzora



Slika Formati senzora

Slika prikazuje neke od tipičnih veličina senzora u usporedbi sa veličinom 35 mm filma. Format senzora koji odgovara formatu 35mm filma naziva se **senzor punog formata** (*full frame*). Veličina senzora u digitalnim SLR fotoaparatom varira između 40% - 100% površine filma. Digitalni kompaktni fotoaparati imaju znatno manje senzore (na slici označeni zelenom i plavom bojom), no sa sličnim brojem piksela kao i oni većih dimenzija. Veliki broj piksela na maloj površini rezultira većim šumom i manjim dinamičkim rasponom, što uvelike utječe na kvalitetu digitalno snimljene slike i čini razliku između amaterske i profesionalne kategorije fotoaparata. Ovaj se primjer navodi iz razloga da se ukaže na potencijalne krive zaključke o kvaliteti digitalnog fotoaparata kad se procjena vrši samo na temelju njegove rezolucije (odnosno broja megapiksela). Odnos broja piksela i veličine piksela na senzoru bit će dodatno objašnjen u poglavlju 2.4.3.

U Tablici navedeni su omjer širine i dužine, kao i dimenzije kod tipičnih veličina senzora. Zadnja tri reda (u tablici prikazana sivom bojom) prikazuju senzore koji se koriste kod digitalnih SLR fotoaparata. Većina današnjih digitalnih SLR fotoaparata koristi APS-C veličinu senzora, a sve više ih je i sa senzorom punog formata. Postoji više varijanti izvedenih iz APS-C formata, ovisno o proizvođaču. Sony-ev APS-C format senzora je 21.5 x 14.4 mm, Nikon-ov APS-C format (DX senzor) iznosi 23.7 x 15.7 mm, dok Canon ima manju i veću varijantu senzora; 22.3 x 14.9 i 28.7 x 19.1 mm.

Veličina senzora	Omjer stranica	Dimenzije senzora (mm)		
		Dijagonala	Širina	Visina
1/3.6"	4:3	5.000	4.000	3.000
1/3.2"	4:3	5.680	4.536	3.416
1/3"	4:3	6.000	4.800	3.600
1/2.7"	4:3	6.721	5.371	4.035
1/2.5"	4:3	7.182	5.760	4.290
1/2"	4:3	8.000	6.400	4.800
1/1.8"	4:3	8.933	7.176	5.319
1/1.7"	4:3	9.500	7.600	5.700
2/3"	4:3	11.000	8.800	6.600
1"	4:3	16.000	12.800	9.600
4/3"	4:3	22.500	18.000	13.500
1.8" (APS-C)	3:2	28.400	23.700	15.700
35 mm film	3:2	43.300	36.000	24.000

Tablica. Tipične veličine senzora

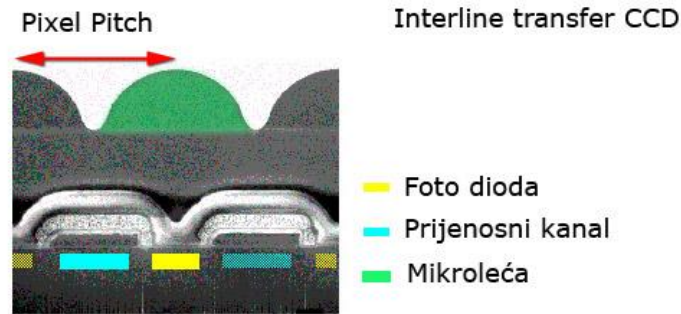
Olympus i Kodak prvi su na tržištu predstavili format 4/3, na Photokini 2002. godine. Novost nije bila vezana samo za novi format senzora, već za razvoj novih objektivna koji će biti namijenjeni i prilagođeni isključivo digitalnim SLR fotoaparatom.

Naime, digitalni SLR fotoaparati temeljeni su na tijelima klasičnih (analognih) SLR fotoaparata. Prednost slične konstrukcije i dimenzija je u tome što mogu koristiti širok izbor objektivna napravljenih za klasične fotoaparate. No, primjena takvih objektivna na digitalnim fotoaparatom koji imaju senzore manjih dimenzija od dimenzija 35 mm filma, uzrokuje povećanje žarišne dužine (tkz. *focal length magnification*). Više o utjecaju formata senzora na promjenu žarišne duljine bit će riječi u poglavlju 2.7.3.

Glavna prednost izrade objektivna namijenjenih samo digitalnim fotoaparatom ogleda se u smanjenju dimenzija i težine. Novi objektivni su kompaktniji, jer je za isti vidni kut potrebna kraća žarišna dužina, što se pogotovo osjeti kod teleobjektivna (300 mm objektiv ekvivalentan je 600 mm klasičnom objektivu).

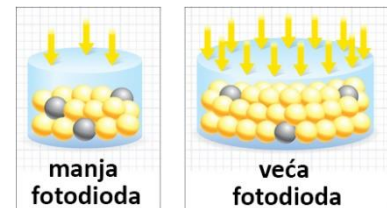
2.4.3. Rezolucija senzora

Veličina senzora i veličina piksela (tj. fotodiode) na njemu, dva su faktora koja u kombinaciji određuju kvalitetu slike, ali i cijenu senzora, a time i ukupnu cijenu fotoaparata. Broj piksela određuje količinu detalja u slici i veličinu ispisa. Više piksela znači veću rezoluciju i mogućnost većeg povećanja snimljene fotografije. No rezolucija sama po sebi nije mjerilo tehničke kvalitete slike. Kvaliteta će u velikoj mjeri ovisiti o veličini piksela, tj. veličini fotoosjetljivih elemenata (fotodiode) na senzoru koji generiraju piksele. Udaljenost od centra jedne fotodiode do centra susjedne fotodiode naziva se *Pixel pitch*. Mjeri se u mikronima i ovisi o površini senzora i broju piksela na njemu. Na većim sensorima veličina piksela iznosi cca 6.8 - 10 mikrona, dok je njihova veličina na sensorima manjeg formata cca 2.6 - 3.4 mikrona.

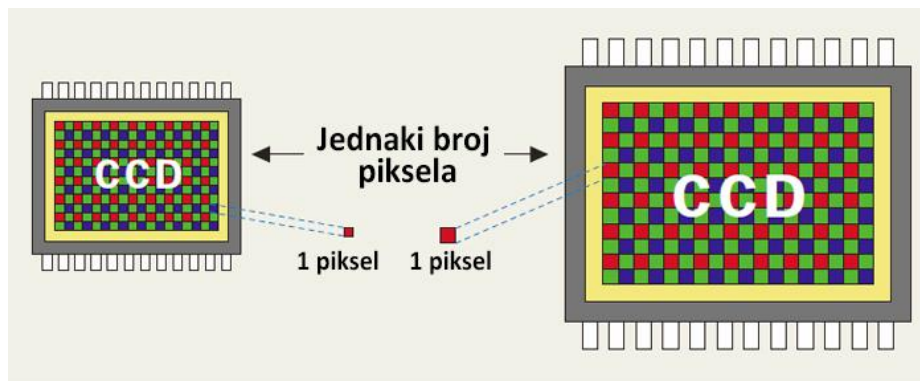


Slika Presjek Interline transfer CCD senzora snimljen elektronskim mikroskopom

Što su fotodiode na senzoru veće to više fotona svjetla mogu primiti (osjetljivije su na svjetlo), pa sensor ima širi dinamički raspon (raspon od svijetlog do tamnog tona koji može zabilježiti) i ima veći raspon signal/šum (reducira se količina šuma u konačnoj slici). S druge pak strane, što su one veće, na senzoru određenog formata ima ih ukupno manji broj, što znači da je rezolucija senzora manja.



Slika odnos signal/šum kod manjih i većih fotodioda



Slika sensor različitog formata sa jednakim brojem piksela

Na slici je prikazan primjer dva senzora jednake rezolucije (ukupnog broja piksela) no različitog formata senzora. Sensor većeg formata ima veće piksele (fotoosjetljive elemente) pa je fotografija snimljena sa takvim sensorom puno kvalitetnija. Ta razlika u kvaliteti najviše dolazi do izražaja kod snimanja u uvjetima slabog osvjetljenja.

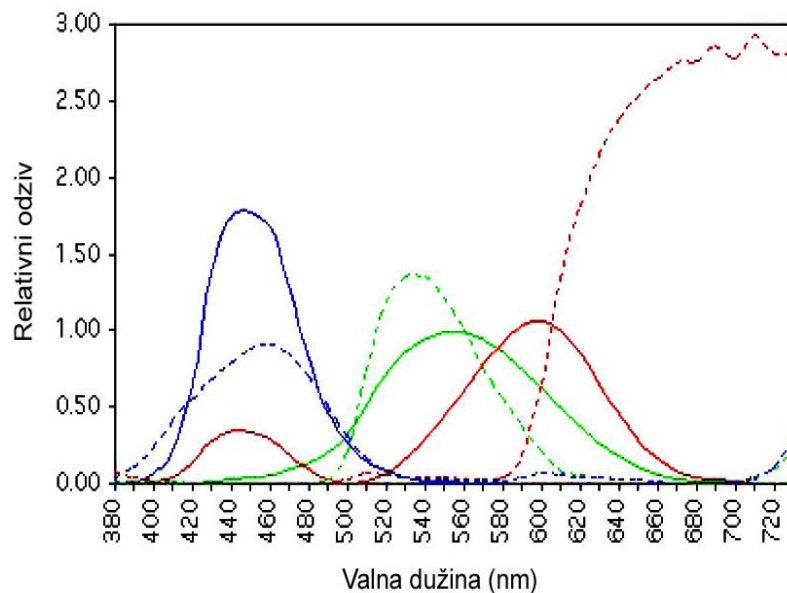
2.4.4. Spektralna osjetljivost senzora

Budući da su CCD i CMOS senzori uređaji koji bilježe crno-bijelu sliku objekta, da bi se dobila slika u boji, na silicijsku podlogu iznad piksela (tj. fotodiode) nanosi se sloj filtera u boji. Svakom pikselu na senzoru se pridružuje jedna od primarnih boja (R, G ili B) tako da se iznad njega postavi filter u toj boji.

Kod klasičnih CCD i CMOS senzora koriste se filtri u boji koji se nalaze u jednom sloju u obliku uređenog mozaika (Bayer uzorak). Ovisno o svojoj spektralnoj osjetljivosti, filtri

propuštaju samo dio valnih dužina do piksela, dopuštajući bilježenje jedne boje. Kao rezultat, senzori u obliku mozaika bilježe 50% zelenog i po 25% crvenog i ljubičasto-plavog dijela spektra. Ovakav odnos je upotrebljen jer se istraživanjima ljudskog vida došlo do spoznaje kako je oko sklono da zelenu svjetlost doživljava kao najvažniju pri određivanju oštine [Wandell, 1995]. Nadalje, ovakvim rasporedom se dobije identična fotografija bez obzira slika li se digitalnim fotoaparatom u vodoravnom ili okomitom položaju.

Upravo o spektralnim karakteristikama upotrebljenih filtara ovisi vjernost reprodukcije boja kod snimanja. Da se postigne potpuna imitacija ljudskog vizualnog sustava, odnosno ljudskog doživljaja boje, spektralna osjetljivost tih filtara mora zadovoljiti Luterov princip, tj. mora biti linearna transformacija osjetljivosti ljudskog oka. No, spektralna osjetljivost senzora u većini digitalnih fotoaparata ne predstavlja linearnu transformaciju spektralnih osjetljivosti ljudskog vizualnog sustava [Murphy, 2005]. Slika To je glavni razlog zašto dolazi do odstupanja i grešaka u reprodukciji boja na digitalno snimljenim slikama.



Slika Relativni spektralni odziv za CIE 1931 standardnog promatrača (puna linija) i za tipični CCD senzor (crtkana linija)

Tipični CCD senzor osjetljiv je i na valne dužine veće od 700 nm, tj. na infracrveni dio spektra, pa se radi toga pri izradi senzora koji se upotrebljavaju u digitalnim fotografskim sustavima, koriste i IR filtri (tkz. *cutoff*) koji blokiraju svjetlost valnih dužina većih od 700 nm [Quan, 2002].

Iako su današnji digitalni fotografski sustavi dostigli visoku razinu kvalitete, reprodukcija boja još uvijek u potpunosti ne odgovara bojama snimane scene koje vidi ljudsko oko. Glavni razlog nemogućnosti rješavanja tog problema, leži u tehničkim ograničenjima u proizvodnji obojenih filtara koji se koriste kod senzora digitalnih fotoaparata. Osim toga, bitno je naglasiti da je točnost reprodukcije boja samo jedan od mnogih kriterija o kojima se vodi računa pri dizajniranju digitalnih fotoaparata. I druge karakteristike kao što su; osjetljivost na svjetlo, razina šuma, rezolucija, brzina

procesiranja signala, troškovi proizvodnje i dr., uzimaju se u obzir pri dizajnu i proizvodnji digitalnih fotoaparata. Budući da se neki od ovih kriterija međusobno isključuju, finalni dizajn je gotovo uvijek kompromisno rješenje.

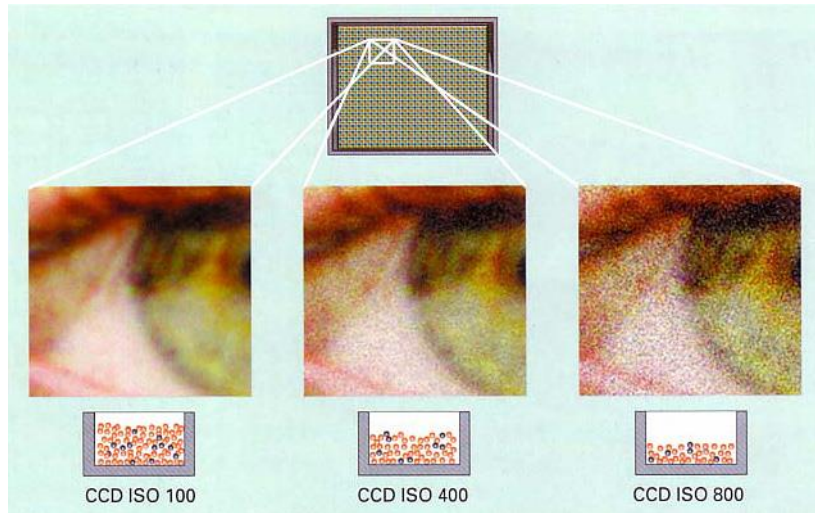
2.4.5. Osjetljivost senzora na svjetlo i šum

Osjetljivost na svjetlo bitan je atribut fotografskog sustava, kako analognog tako i digitalnog, jer direktno utječe na ekspoziciju. Radi lakšeg razumijevanja i prihvaćanja, osjetljivost digitalnog fotoaparata specificirana je na isti način kao i osjetljivost kod konvencionalnog filma - korištenjem ISO propisa. ISO vrijednost označuje stupanj osjetljivosti na svjetlo i izražava se kombinacijom njemačke DIN norme i američke ASA vrijednosti. Dok DIN stupnjevi rastu logaritamski (za svaka 3 stupnja više, potrebna je dvostruko kraća ekspozicija), ASA skala je linearna (ako je vrijednost duplo veća i osjetljivost je također duplicirana).

Na digitalnom fotoaparatu, ovisno o situaciji ili motivu koji se snima, moguće je namjestiti različite ISO vrijednosti. Ovdje treba napomenuti da optimalno podešenje osjetljivosti digitalnog fotoaparata predstavlja najmanja ISO vrijednost (najniži broj) koji predstavlja "polaznu" vrijednost. Veća osjetljivost postiže se pojačavanjem signala, što kao za posljedicu ima primjetniji neželjeni šum u slici.

Podešavanje određene osjetljivosti na digitalnom fotoaparatu usporedivo je sa upotrebom filma iste osjetljivosti kod analognog fotoaparata. Što je veća osjetljivost to je potrebno manje svjetla za ispravnu ekspoziciju, pa se mogu koristiti manji otvor zaslona i/ili kraće vrijeme osvjetljavanja. No, povećanje osjetljivosti može biti uzrok nekih problema koji rezultiraju smanjenjem kvalitete slike. Kod korištenja osjetljivijih filmova, rezolucija i kvaliteta slike se smanjuje radi povećanja zrna u emulziji filma. No upravo ta gruba zrnata struktura, ponekad se može dobro iskoristiti kao teksturalni efekt. Filmu određene osjetljivosti, produženim vremenom razvijanja osjetljivost se može povećati do 2 puta (tkz. *push* proces), no to uzrokuje smanjenje raspona tonova, povećanje zrnatosti i opću neravnotežu boja.

Osjetljivost senzora digitalnog fotoaparata odnosi se na količinu naboja koji gradi individualni fotoosjetljivi element u ovisnosti o intenzitetu svjetla. Naime, senzor koji je u osnovi nabojna memorija, pretvara svjetlosnu energiju u obliku fotona u električni naboj. Elektroni koji su stvoreni međusobnim djelovanjem fotona sa atomima silicija spremaju se u udubinama potencijala naboja. Nakon ekspozicije, taj se naboj prenosi pomoću prijenosnih registara te izlazi u pojačalo. Veće ISO vrijednosti postižu se pojačavanjem signala sa svakog fotoosjetljivog elementa. Pojačavanje signala nakon prebacivanja u digitalni format, uzrokuje smanjenje raspona tonova na snimljenoj slici, slično kao kod filma podvrgnutog *push* procesu razvijanja. No, za razliku od filma, gdje povećanje osjetljivosti rezultira povećanjem veličine zrna u emulziji filma i smanjenjem rezolucije, kod senzora to nije slučaj, jer je razmak između središta dvaju susjednih elementa na senzoru tkz. *pitch* - konstantan. Također, zadržana je i opća ravnoteža boja, jer je RGB odziv senzora linearan. *Slika*

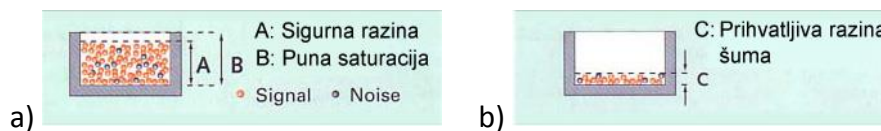


Slika Osjetljivost CCD senzora - povećanjem ISO vrijednosti smanjuje se naboj u fotoosjetljivim elementima

2.4.6. Raspon osjetljivosti senzora (dinamički raspon)

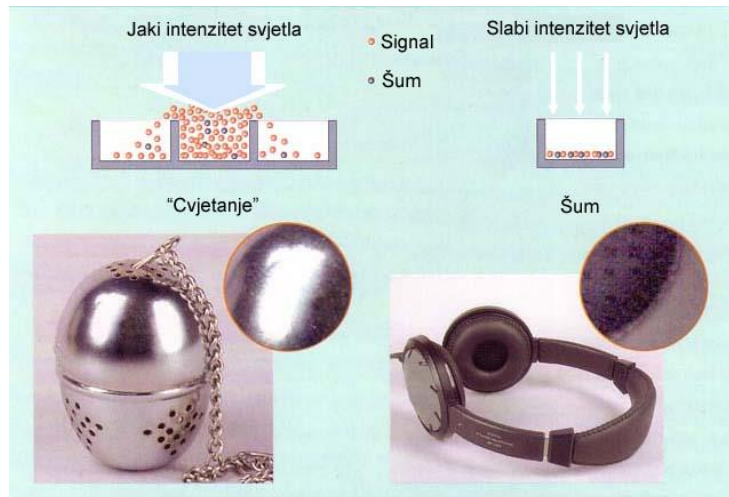
Kao što je ranije spomenuto, na digitalnom fotoaparatu moguće je namjestiti različite ISO vrijednosti. Taj raspon vrijednosti definira se kao "*ISO speed latitude*" - raspon osjetljivosti digitalnog fotoaparata.

Naboj se u fotoosjetljivim elementima senzora gradi linearno. Što je duže vrijeme ekspozicije, veći je naboj. Do kraja nabijen (saturiran) element može sadržavati oko 110,000 elektrona. Svaki daljnji svjetlom inducirani naboj ne može biti zabilježen, pa su vrlo svijetli detalji sa snimane scene na slici reproducirani kao bijele površine bez detalja. Da se izbjegne ovaj problem, elementi senzora nisu napunjeni do točke saturacije, već do sigurne razine tkz. *full well*, koja iznosi oko 90% saturacije, sa oko 100,000 elektrona. Upravo taj uvjet, određuje minimalnu ISO vrijednost senzora, koja najčešće iznosi ISO 100. Slika a



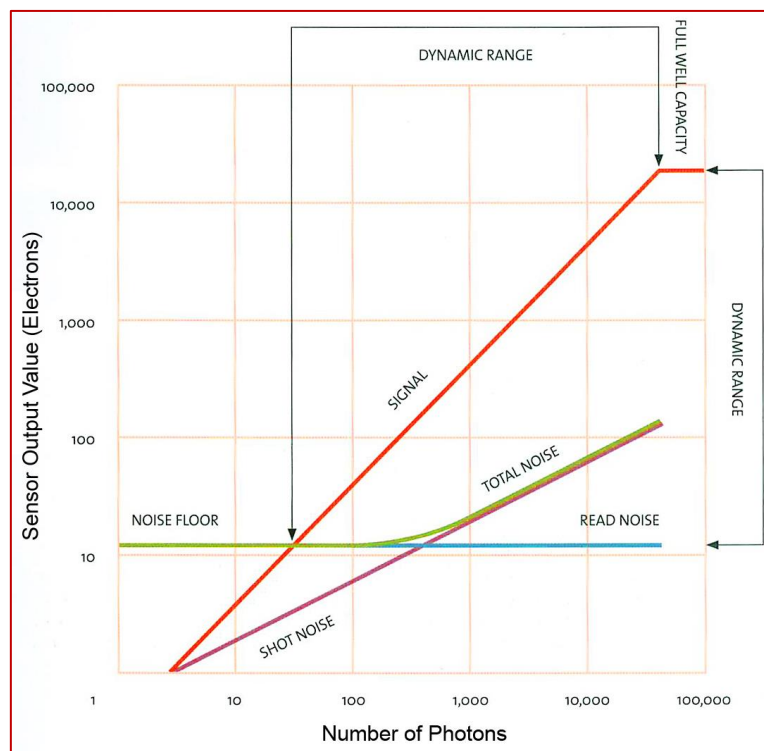
Slika Granice osjetljivosti CCD senzora: a) minimalna, b) maksimalna ISO vrijednost senzora

Predugačke ekspozicije mogu dovesti do preeksponiranosti fotoosjetljivih elemenata na senzoru koje uzrokuje prelaženje viška naboja u susjedne elemente. To rezultira efektom "cvjetanja" (tkz. *blooming*) oko glatkih i sjajnih predmeta na slici. RGB kanali različito reagiraju na ovaj efekt pa granica svijetlog i tamnog područja na slici može biti obojana. Slika



Slika Primjer preeksponiranja i podeksponiranja fotoosjetljivih elemenata na senzoru

Korištenje većih ISO vrijednosti, skraćuje potrebno vrijeme ekspozicije ili smanjuje intenzitet svjetla radi korištenja manjih otvora zaslona na objektivu. Proporcionalno manjem intenzitetu svjetla, manje naboja se akumulira u svakom elementu senzora, pa se naboji moraju pojačati da bi prikazali cijeli raspon tonova. No time se pojačava i neželjeni šum, što često rezultira slikom lošije kvalitete. Naime, čak i u odsutnosti svjetla, mali pozadinski naboj poznat kao *tamna struja*, odnosno šum, prisutan je u fotoosjetljivim elementima na senzoru. Kad je svjetlom inducirani naboj (signal) manji ili podjednak nivou prisutnog šuma, kvaliteta slike postaje neprihvatljiva. Minimalni naboj sa najnižim prihvatljivim odnosom signal/šum određuje maksimalnu ISO vrijednost senzora (Slika b). Dakle, dinamički raspon senzora limitiran je, s jedne strane, sa popunjenošću udubine potencijala elektronima (*full well capacity*) a s druge, odnosom signal-šum (*signal-noise ratio*).






Slika Dinamički raspon senzora

Osim povećanjem ISO osjetljivosti, šum na slici raste i produženjem vremena ekspozicije kao i povećanjem temperature. Pri konstantnoj temperaturi, šum se povećava linearno sa produženjem vremena ekspozicije. Povećanjem temperature za oko 10°C količina šuma na slici duplo je veća. Zato je važno da se izvori topline, kao što je studijska rasvjeta, drži dalje od digitalnog fotoaparata.

2.5. A/D pretvornik i dubina bita

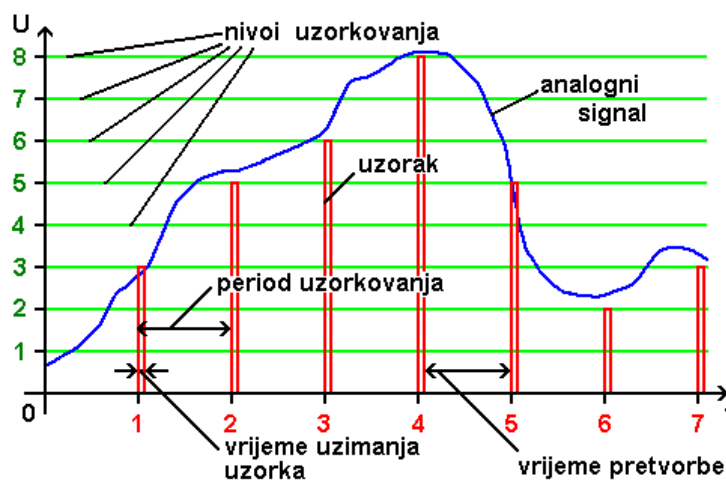
Analogno-digitalna pretvorba je proces kojim se analogni signal pretvara u digitalni zapis. U tu svrhu koriste se analogno-digitalni pretvornici (eng. *analog-digital converters*) ili ADC.

Kao što je ranije spomenuto, senzor se sastoji od fotodioda koje energiju dolaznih fotona svjetlosti pretvaraju u električni naboj. Taj električni naboj pretvara se u napon koji se zatim pojačava do razine na kojoj ga može obraditi A/D pretvornik. On zatim kvantizira tj. uzrokuje analogne napone u vremenu, u niz diskretnih razina svjetlina i svakoj razini dodjeljuje binarnu oznaku (sastavljenu od nula i jedinica). Ulazni napon u intervalu $[0, V_{REF}]$ pretvara se u digitalnu vrijednost $[0, 2^{n-1}]$, gdje je n broj bitova tj. razlučivost pretvornika. Npr. 4-bitni A/D pretvornik pretvara ulazni napon od 0 do 1 V u brojeve od 0 do 15. To znači da će se cjelokupni raspon svjetlosti od crnog do bijelog prikazati s 16 nijansi.

Analog →	Sampling	→ Digital
1.00V - 	255	→ 11111111
0.38V - 	98	→ 01100010
0.00V - 	0	→ 00000000

Slika 8-bitni A/D pretvornik uzrokuje analogne napone u 256 diskretnih razina

Osnovni parametri o kojima ovisi kvaliteta A/D pretvornika su: razlučivost (broj bitova) i brzina pretvorbe (broj uzoraka/s - sps). Brzina pretvorbe treba biti najmanje dvostruko veća od najviše frekvencije prisutne u signalu (Niquistov kriterij).



Slika Uzorkovanje analognog signala u vremenu

Dubina bita se odnosi na broj bita kojima je opisana informacija o boji jednog piksela. Što više bitova imamo to će preciznija biti informacija o stvarnom intenzitetu svjetla, moći će se prikazati veći broj tonova i prikaz boje će biti točniji. Boja piksela na slici s dubinom boje od 1 bita može imati samo dvije vrijednosti, crnu ili bijelu. Boja piksela na slici s dubinom boje od 8 bitova može imati jednu od mogućih 256 vrijednosti ($2^8=256$), odnosno vrijednost od 0 do 255. U Tablici 2 prikazan je odnos dubine bita i broja nijansi za neke od vrijednosti.

Tablica Odnos broja bitova i broja nijansi

Broj bita (n)	Broj nijansi (2^n)	Objašnjenje
1 bit	2	1 binarna znamenka, 2 moguće kombinacije, 1 ili 0, tj. bijelo ili crno
2 bita	4	2 binarne znamenke, 4 moguće kombinacije, crno, tamno sivo, svjetlo sivo, bijelo
4 bita	16	3 binarne znamenke, 8 mogućih kombinacija
8 bita	256	8 binarnih znamenki, 256 mogućih kombinacija
16 bita	65 536	16 binarnih znamenki, 65 536 mogućih kombinacija

Minimalna razlučivost A/D pretvornika određena je dinamičkim rasponom senzora. Ako je dinamički raspon senzora npr. 1000:1, razlučivost A/D pretvornika trebala bi biti barem 10-bitna ($2^{10}=1\ 024$) da bi mogao izbjeći gubitak informacija pri pretvorbi. No ovdje je bitno napomenuti da korištenjem 12 ili 14 bitnog A/D pretvornika ne možemo proširiti postojeći tonski raspon senzora iz ovog primjera. Ti „viška“ biti mogu poslužiti za minimalizaciju grešaka (kao što je posterizacija³) koje mogu nastati kod korekcije tonskih vrijednosti (kod primjene tonske krivulje na linearnim podatcima koje daje senzor). Razlika u dubini bita najviše dolazi do izražaja u fazi obrade (korekcije) snimljene fotografije na računalu. Slika koja je u startu opisana sa više bita, pruža veće mogućnosti obrade, bez značajnih gubitaka slikovnih informacija.

Tablica Odnos razlučivosti A/D pretvornika i dinamičkog raspona senzora

Razlučivost A/D pretvornika (broj bita)	Dinamički raspon senzora		
	Raspon kontrasta	Ekspozicijska vrijednost (EV stops)	Gustoća
8	256:1	8	2.4
10	1 024:1	10	3.0
12	4 096:1	12	3.6
14	16 384:1	14	4.2
16	65 536:1	16	4.8

Većina kompaktnih fotoaparata ima 8 bitni A/D pretvornik, dok je kod SLR kategorije fotoaparata najčešći 10 ili 12 bitni pretvornik, jer oni imaju senzore većih dimenzija i sa širim dinamičkim rasponom. Također, SLR fotoaparati pružaju mogućnost spremanja fotografije u RAW formatu koji podržava 10 ili 12 bitni zapis, za razliku od JPEG formata koji je limitiran na 8 bita po kanalu.

³ Posterizacija (eng. *banding*) je greška koja se javlja kad je dubina bita nedovoljna da se prikaže kontinuirana gradacija tonova, već ti tonski prijelazi postaju grubi i uočljivi.

2.6. Procesor

Još jedna komponenta digitalnog fotografskog sustava koja značajno utječe na kvalitetu fotografija je procesor za obradu slike. Taj elektronski sklop, specijalizirani digitalni procesor signala (eng. *digital signal processor* - DSP), koristi se za procesiranje slike u digitalnim fotoaparatima, mobilnim telefonima i drugim uređajima.

Procesor je odgovoran za obradu svih podataka sa senzora, dobivenih preko A/D pretvornika, kao i za prijenos gotove, obrađene slike na memorijsku karticu. Koristeći posebne programske instrukcije i algoritme, procesor dodaje informacije podacima o djelomično snimljenoj slici, a zatim odvaja bitne od nebitnih podataka. Što su procesor i softver efikasniji u izvršavanju ovih zadataka, to je veća brzina obrade podataka i kvaliteta slike bolja.

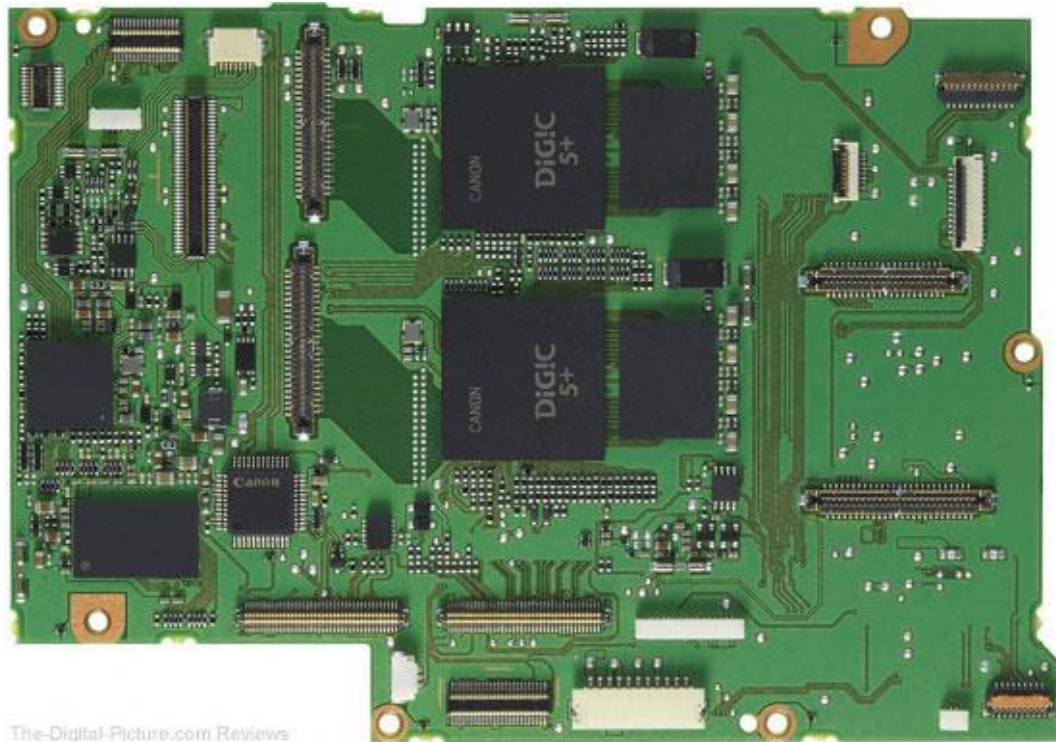
Procesor je zadužen za mnoge zadatke, a neki od najvažnijih su:

- **Operacije privremene memorije** (eng. *buffer memory*) – nakon što su snimljene, fotografije dolaze u privremenu memoriju iz koje se jedna po jedna šalju dalje na obradu. Veličina privremene memorije utječe na brzinu snimanja i o njoj ovisi broj snimaka u sekundi (fps) koje fotoaparat može snimiti. Iako to ne utječe direktno na kvalitetu slike, ta karakteristika može povećati šanse da se snimi odlična fotografija.
- **Bayerova interpolacija** – za konačnu informaciju o boji izvodi se niz složenih proračuna na temelju Bayer mozaika, pri čemu se boja jednog piksela interpolira analizom boje susjednih piksela (taj proces se zove *demosaiicing*). Nakon toga, procesiraju se podaci o balansu bijele boje, zasićenosti boje i kontrastu.
- **Izoštavanje slike** – nakon što su interpolirane vrijednosti boje i svjetline svakog piksela primjenjuje se omekšavanje slike da se „izglade“ tonski prijelazi i uklanjaju se greške poput pogrešnih boja, *fringeing* i *aliasing*. Da bi se zadržao dojam dubine, jasnoće i finih detalja, procesor izoštrava rubove i konture na slici.
- **Uklanjanje šuma** – iznimno važan i zahtjevan zadatak koji obavlja procesor, tako što odvaja neželjene informacije (šum) od slikovnih informacija. To može predstavljati problem kod fotografija koje sadrže područja sa finim teksturama, koje - ako se pogrešno poistovjete sa šumom, mogu izgubiti detalje.
- **Primjena korisničkih postavki** – procesor procesira slike prema postavkama koje je fotograf putem izbornika postavio na fotoaparatu.
- **Kreiranje i kompresija slike** – procesiranje slike u jednom od formata zapisa i primjena odgovarajućih algoritama kompresije.

Uz senzore sa sve većim brojem megapiksela, brzina i snaga procesora postaju presudni faktor u radu digitalnog fotografskog sustava. Danas se velika pažnja posvećuje upravo kombinaciji senzora i procesora, jer ako su oni dobro usklađeni moguće je i sa sensorom manjih dimenzija dobiti kvalitetniju fotografiju sa većom

rezolucijom i boljom oštrinom od one koja se dobije sa velikim senzorom i „primitivnijim“ procesorom.

Da se poveća efikasnost i brzina procesiranja u novije fotoaparate profesionalne kategorije ugrađuje se čip sa više-jezgrenim procesorom. Na slici je prikazan čip sa dva DIGIC 5+ procesora i jednim DIGIC IV procesorom u najnovijem Canonovom profesionalnom SLR fotoaparatu EOS 1D X. Najveća prednost ovakve arhitekture je velika brzina i preciznost procesiranja, pogotovo u zahtjevnim svjetlosnim uvjetima kod korištenja viših ISO vrijednosti (redukcija šuma) i pri velikoj brzini kontinuiranog okidanja u kratkom intervalu (visok tkz. *frame rate*).

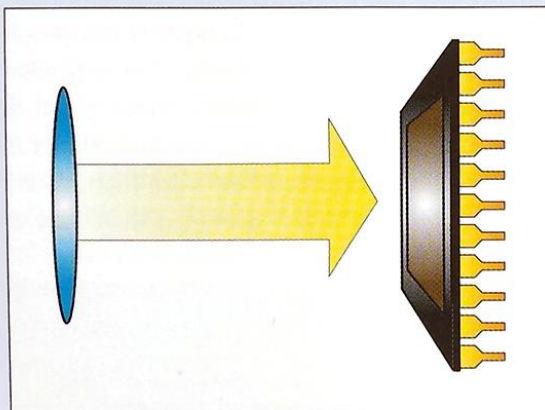


Slika Čip sa više jezgrenim procesorom Canon EOS 1D X

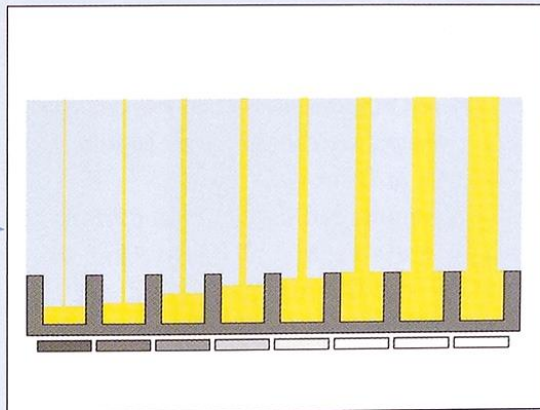
Ovdje je bitno napomenuti da su prednosti rješavanja problema putem brzog i snažnog procesora donekle limitirana kad se snima u RAW formatu, jer se sve optimizacije slike vrše kasnije na računalu (a ne u samom fotoaparatu kao kod snimanja u JPEG formatu).

Rezime – Tijek nastanka digitalne slike

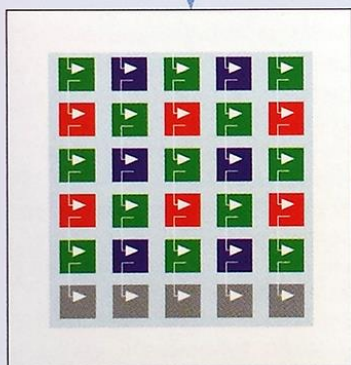
Tijek nastanka digitalne slike



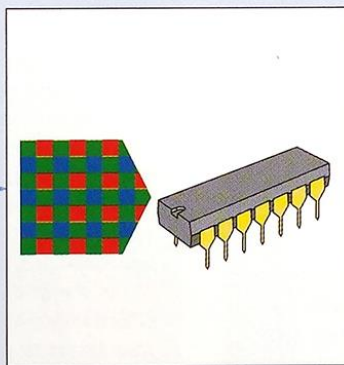
1. Svjetlost kroz objektiv dolazi do fotodioda na senzoru.



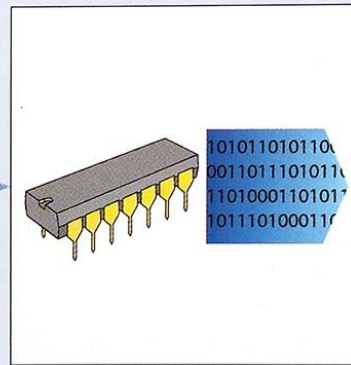
2. Fotodiode pretvaraju energiju dolaznih fotona svjetlosti u odgovarajući električni naboj.



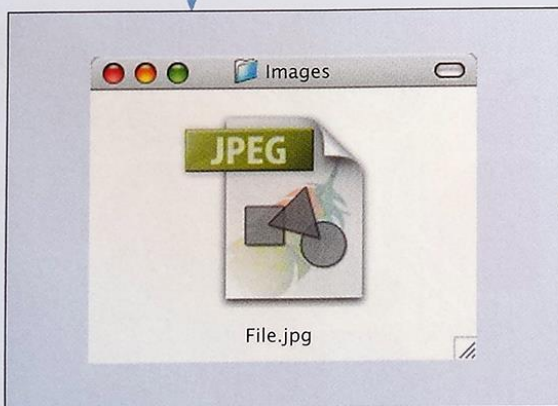
3. Električni naboj se pretvara u napon, koji se prebacuje sa senzora na izlazno pojačalo.



4. Pojačani napon se šalje na obradu u A/D pretvornik.



5. A/D pretvornik pretvara analogni napon u digitalni zapis.



6. Procesor obrađuje dobiveni digitalni zapis izvršavajući niz složenih zadataka (interpolacija, izoštravanje, uklanjanje šuma, kompresija i dr.)



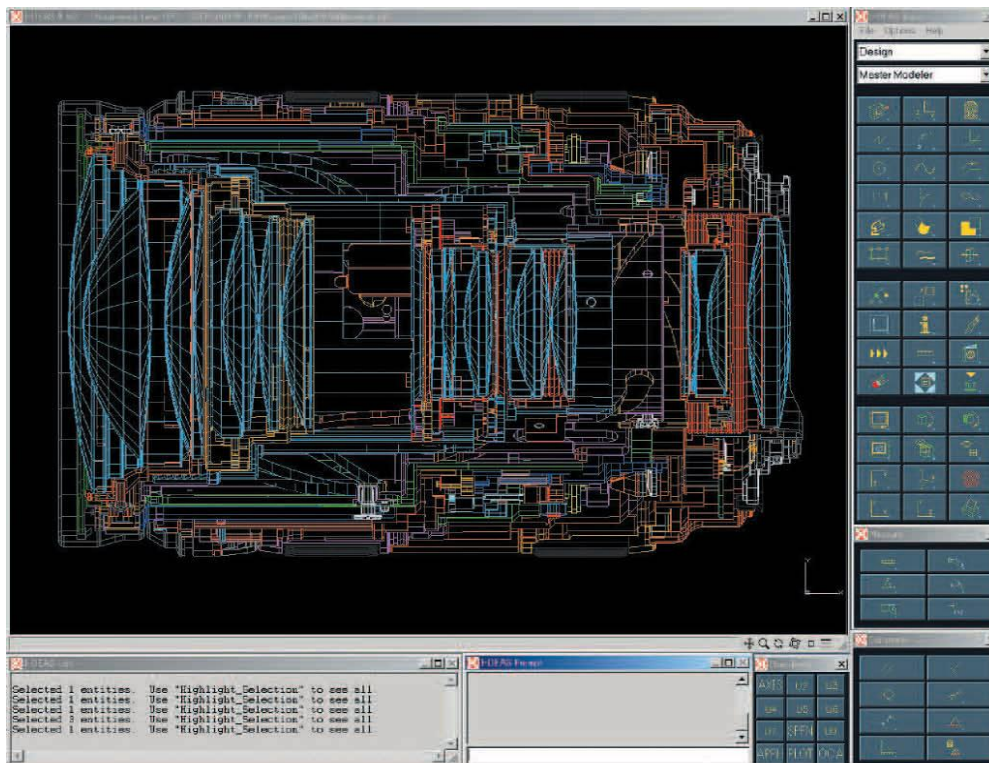
7. Obrađena slika prebacuje se i zapisuje na memorijsku karticu.

2.7. Objektivi

Kao što je senzor srce fotoaparata, za objektiv bi mogli reći da je oko fotoaparata. To je optičko-mehanički sustav koji ima funkciju prikupljanja i usmjeravanja svjetla na senzor fotoaparata. Kvaliteta objektiva je danas važnija nego ikada prije zbog sve veće rezolucije senzora. Često je rezolucija fotografija limitirana kvalitetom objektiva, a ne brojem megapiksela na senzoru. Osim toga, odabirom odgovarajućeg objektiva, značajno utječemo na interpretaciju snimane scene. Ovisno o vidnom kutu objektiva, određujemo „širinu“ snimane scene, dok o otvoru zaslona ovisi kakva će biti dubinska oštrina na fotografiji - da li će objekt snimanja biti uklopljen u pozadinu ili izdvojen iz nje. Također, o svjetlosnoj moći objektiva, ovisit će sposobnost snimanja u lošim svjetlosnim uvjetima. O svemu tome, ali i o konstrukciji samih objektiva i njihovoj podjeli, bit će riječi u narednim poglavljima.

2.7.1. Konstrukcija objektiva

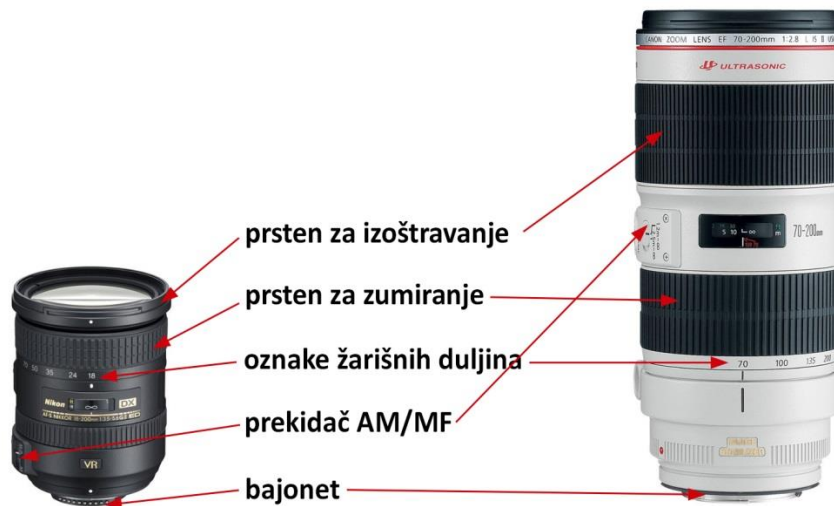
Osnovni elementi objektiva su leće. Inženjeri pri konstrukciji objektiva moraju paziti na cijeli niz faktora koji mogu utjecati na konačnu kvalitetu objektiva; od odabira odgovarajuće vrste stakla⁴, pa do izračuna potrebne zakrivljenosti svake leće, te njihovog centriranja i određivanja međusobne udaljenosti unutar kućišta objektiva.



Slika Dizajn objektiva u CAD programu

⁴ Postoji oko 150 različitih vrsta optičkog stakla koja se mogu koristiti za izradu leća za objektiv. Danas se osim optičkog stakla za izradu leća koristi sintetički fluoritni kristal (kalcij fluorid CaF_2).

No prije nego što zavirimo u unutrašnjost objektivu, opisat ćemo njegove vanjske dijelove. Vanjski dijelovi objektivu su: prsten za izoštravanje, prsten za zumiranje i oznake žarišnih duljina (kod zum objektivu), prekidač za odabir načina izoštravanja (ručno - MF ili automatsko - AF) i priključak objektivu – metalni navoj tj. bajonet sa kontaktima za komunikaciju objektivu s kućištem fotoaparata. Prsten za izoštravanje koristi se za ručno fokusiranje kad je prekidač za izoštravanje podešen na MF. Prsten za zumiranje na zum objektivima služi za promjenu žarišne duljine objektivu tj. za promjenu vidnog kuta (približavanje ili udaljavanje snimane scene).



Slika Vanjski dijelovi objektivu

Na prednjoj strani objektivu, oko prednje leće, nalaze se oznake proizvođača, vrsta objektivu, žarišna duljina u milimetrima, maksimalni otvor zaslona izražen kao f-broj, promjer objektivu (radi lakše nabavke odgovarajućeg filtra).



Slika Oznake na prednjoj strani Canon objektivu



Slika Stražnji kraj objektivu sa metalnim navojem

Unutrašnjost svakog objektivu sastoji se od tri osnovna dijela: skupine leća, motora za izoštravanje i zaslona (blende). **Leće** u objektivu su posebno brušena i polirana optička stakla, sa barem jednom zakrivljenom površinom, koja imaju ulogu preciznog usmjeravanja svjetla na senzor u kućištu fotoaparata. Njihova je izrada tehnološki vrlo složena, stoga ne treba čuditi da su neki objektivu sa većim brojem leća skuplji i od samog fotoaparata. U novije vrijeme, osim posebnih materijala za leće, te novih načina

za oblikovanje i poliranje leća, radi se i na razvoju lakših i manjih objektivâ, kao i na specijalnim kemijskim premazima koji omogućuju bolji prolazak svjetla kroz objektiv.

Kad je prekidač za izoštravanje namješten na opciju automatskog fokusiranja (AF) **motor za izoštravanje** ugrađen u objektivu pokreće leće prema uputama koje dobiva iz uređaja za fokusiranje (koji se nalazi u kućištu fotoaparata između pentaprizme i zrcala). Pritiskom okidača do polovice, pokreće se sustav za automatsko izoštravanje (koji se oslanja na kontrast registriran kod objekta snimanja). Na taj se način automatski izoštrava slika koja se projicira na senzor. U uvjetima slabog osvjetljenja, kao i u nekim drugim situacijama (o kojima će biti kasnije više riječi) automatsko izoštravanje radi otežano, pa je bolje izoštravati ručno. U tom slučaju potrebno je prekidač za fokusiranje na objektivu prebaciti s AF na MF, jer se u protivnom može oštetiti motor za fokusiranje u objektivu.

Zaslon ili blenda sastoji se od tankih metalnih listića koji se, ovisno o postavkama na fotoaparatu, skupljaju ili šire, mijenjajući veličinu otvora objektivâ kroz koji dolazi svjetlo na senzor. Veličina otvora zaslona označava se f-brojem. Što je f-broj manji, otvor je veći. Najveći mogući otvor zaslona koji se na objektivu može namjestiti određuje njegovu tkz. **svjetlosnu jakost**. Svjetlosno jaki objektivâ (sa npr. $f/1.2$ ili $f/2.8$) značajno su skuplji u usporedbi sa objektivima (iste ili slične žarišne duljine) manje svjetlosne jačine. Obično su većih dimenzija i složenije su konstrukcije, sastavljeni od skupljih leća bolje kvalitete. Oni omogućuju snimanje u lošijim svjetlosnim uvjetima, a korisni su također i kod snimanja sa velikim brzinama zatvarača (jer propuštaju puno svjetla na senzor).



Slika Iris zaslona (blenda)

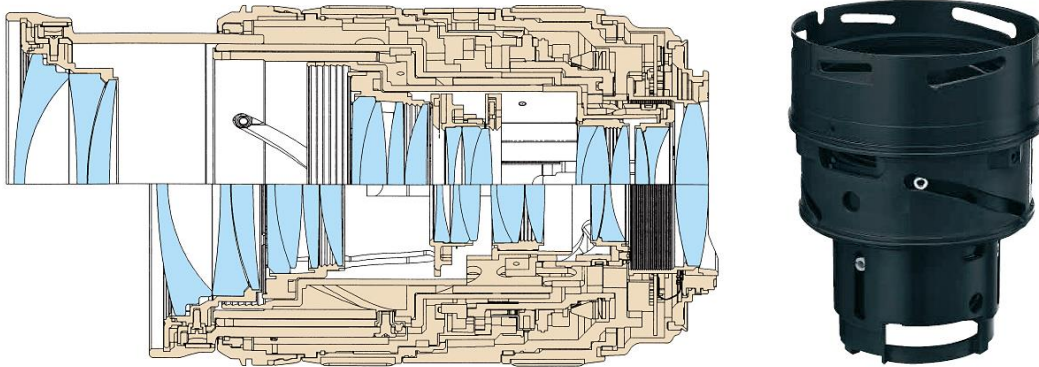


Canon EF 70-200mm $f/2.8L$ IS USM
Cijena: \$1675

Canon EF 70-300mm $f/4-5.6$ IS USM
Cijena: \$649

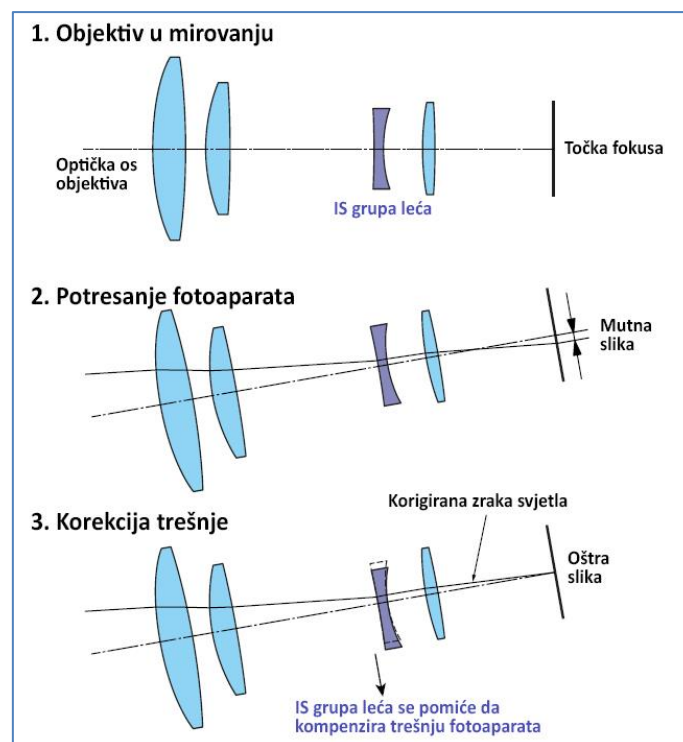
Slika Dva zum objektivâ, slične žarišne duljine, ali velike razlike u cijeni zbog različite svjetlosne jačine

Sve te unutrašnje dijelove objektivu zajedno drži tzv. **tubus** (eng. *lens barrel*). Njegova uloga je da u svakoj situaciji (npr. kod zumiranja i izoštravanja) drži leće u precizno definiranoj poziciji. Unutrašnjost tubusa mora biti napravljena tako da sprečava štetne refleksije, te da je mehanički čvrsta, otporna i trajna.



Slika Presjek Canon EF 24-70mm f/2.8L USM objektivu i tubus (desno)

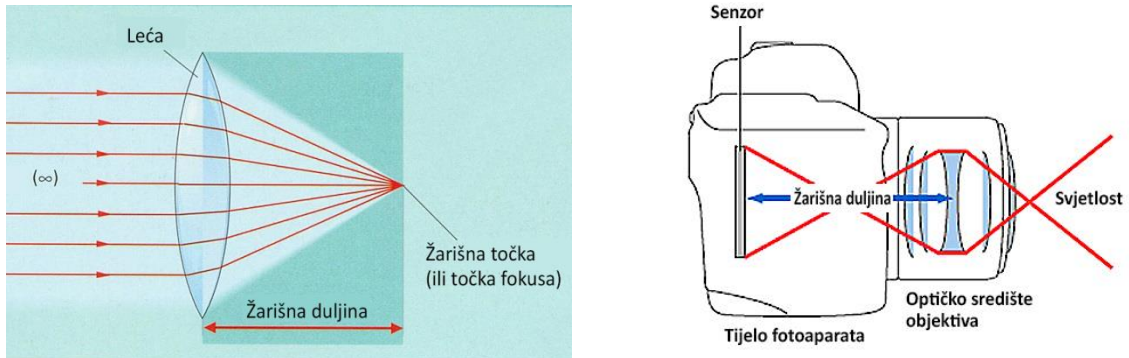
Neki objektivu, naročito oni većih dimenzija i težine, sadrže u sebi **stabilizator slike** – sustav koji kompenzira učinke pomicanja fotoaparata pri snimanju. Tvrtna Canon prva je napravila objektiv sa stabilizatorom slike, tzv. IS - *image stabilization*, za 35mm SLR fotoaparata još 1995. godine. Nešto kasnije i tvrtka Nikon počela je ugrađivati sličan sustav, pod oznakom VR - *vibration reduction*, u svoje objektivu. Sustav je napravljen tako da pomiče leće u objektivu kako bi korigirao pomicanje (trešnju) fotoaparata i objektivu, te omogućio dobivanje oštre slike pri malim brzinama zatvarača, kad se snima „iz ruke“ tj. bez stativa. Problem stabilizacije slike tvrtka Sony riješila je na drugačiji način – ugradnjom mikro-motora koji pomiču senzor, a ne leće u objektivu.



Slika Stabilizacija slike u objektivu

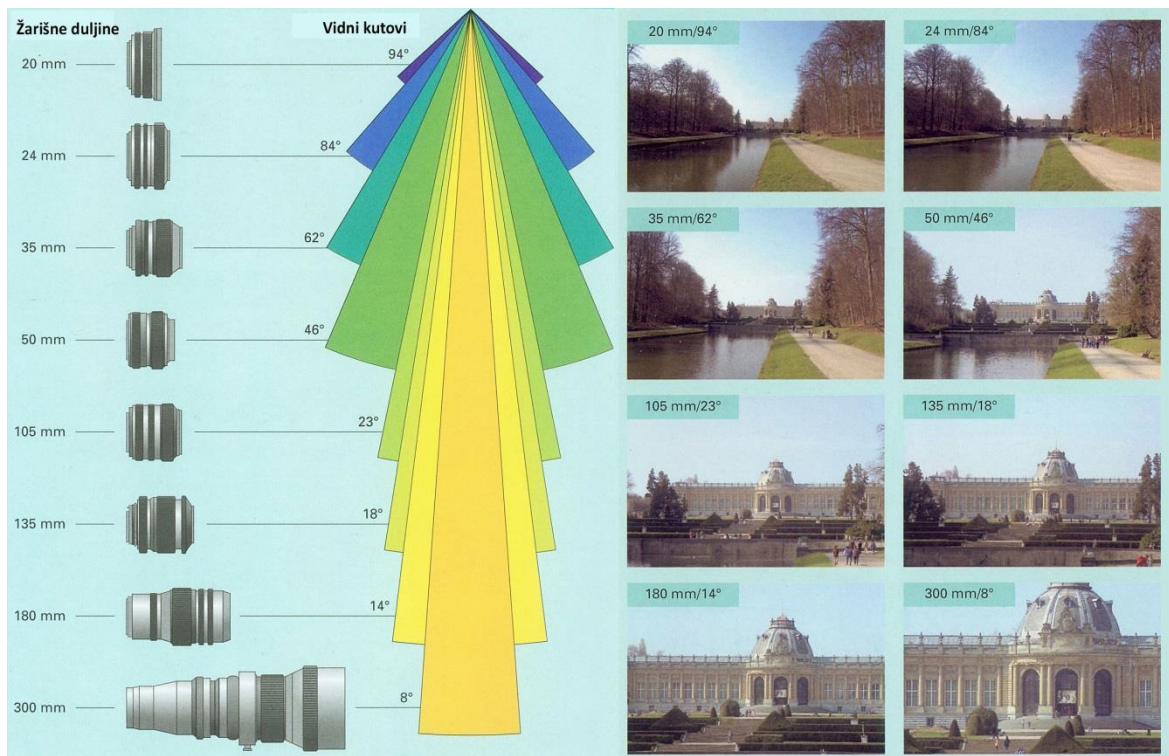
2.7.2. Žarišna duljina i vidni kut

Objektive razlikujemo prema vidnom kutu, a on ovisi o žarišnoj duljini. Žarišna duljina objektiva je udaljenost od optičkog središta objektiva do točke (žarišta) gdje se sastaju sve zrake svjetlosti koje prolaze kroz leće. Na tom mjestu nalazi se senzor (ili film).



Slika Žarišna duljina objektiva

Dakle, žarišna duljina određuje vidni kut objektiva. Što je žarišna duljina veća, to je vidni kut manji (i obrnuto). Iz toga proizlazi osnovna podjela objektiva na: širokokutne, srednje (standardne) i teleobjektive (uskokutne). Žarišna duljina objektiva izražava se u milimetrima i označena je na vanjskom dijelu objektiva. Ovdje je još bitno spomenuti da objektivi mogu biti fiksne žarišne duljine (tkz. fiksni ili *prime* objektivi) ili promjenjive žarišne duljine (tkz. zum objektivi) koji sadrže raspon različitih vidnih kutova. Primjerice, 24-105mm zum objektiv pokriva sve žarišne duljine od 24mm (široki vidni kut) do 105mm (telefoto, uski vidni kut).



Slika Žarišne duljine i vidni kutovi objektiva

2.7.3. Utjecaj formata senzora na promjenu žarišne duljine

Vidni kut je funkcija žarišne duljine objektiva i dimenzija senzora (ili filma) koji se nalazi u fotoaparatu. Radi toga, fotoaparat sa manjim senzorom koji se koristi sa klasičnim objektivom, imat će manji vidni kut od fotoaparata sa senzorom punog formata (eng. *full frame*) koji koristi objektiv sa istom žarišnom duljinu. Da se dobije nova vrijednost žarišne duljine objektiva koji se koristi na digitalnom fotoaparatu sa manjim senzorom (tkz. ekvivalentna žarišna duljina), potrebno je žarišnu duljinu objektiva pomnožiti sa faktorom koji se, ovisno o formatu senzora, kreće od 1.3 do 1.7. Taj faktor (tkz. faktor izreza) je broj koji pokazuje koliko je puta dijagonala senzora manja od dijagonale 35 mm filma (ili senzora punog formata). Na primjer, ako se koristi objektiv žarišne duljine od 200mm na digitalnom SLR fotoaparatu sa faktorom izrezivanja 1.5, žarišna duljina tog objektiva biti će zapravo 300mm (200 x 1.5). Ova karakteristika može biti prednost kod snimanju udaljenih motiva (jer povećava žarišnu duljinu teleobjektiva), no može biti i značajan nedostatak zbog ograničene mogućnosti postizanja širokog vidnog kuta.

2.7.3.1. Faktor izrezivanja i ekvivalentna žarišna duljina

Faktor za koji se odrezuje vidni kut naziva se faktor izrezivanja ili faktor izreza (eng. *crop factor*):

$$\text{Faktor izrezivanja} = 43,27 \text{ (dijagonala 35mm senzora)} / \text{dijagonala senzora}$$

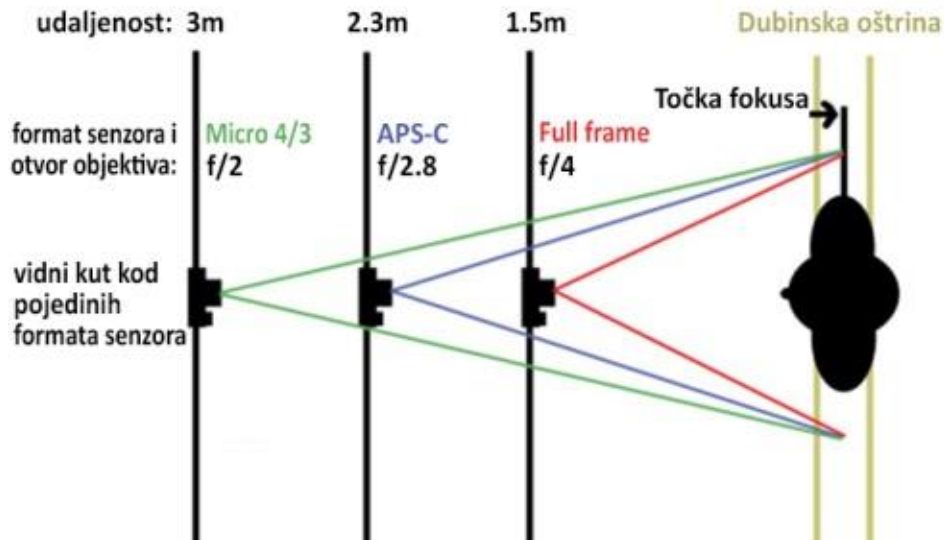
Žarišna duljina kojom bi se dobio jednak vidni kut kao kod 35mm senzora naziva se ekvivalentna žarišna duljina (eng. *equivalent focal length*):

$$\text{Ekvivalentna žarišna duljina} = \text{žarišna duljina objektiva} \times \text{faktor izrezivanja}$$

Žarišna duljina objektiva	Ekvivalentna žarišna duljina (<i>efi</i>)			
	APS-H (27.9x18.6mm) 1.3x	APS-C (23.6x15.6mm) 1.5x	APS-C Canon (22.3x14.9mm) 1.6x	4/3 (17.3x13mm) 2.0x
10mm	13mm	15mm	16mm	20mm
17mm	22.1mm	25.5mm	27.2mm	34mm
28mm	36.4mm	42mm	44.8mm	56mm
35mm	45.5mm	52.5mm	56mm	70mm
50mm	65mm	75mm	80mm	100mm
105mm	136.5mm	157.5mm	168mm	210mm
135mm	175.5mm	202.5mm	216mm	270mm
200mm	260mm	300mm	320mm	400mm
400mm	520mm	600mm	640mm	800mm
600mm	780mm	900mm	960mm	1200mm

Tablica Ekvivalentne žarišne duljine za tipične formate senzora (uz faktor izrezivanja)

Primjer kako format senzora utječe na promjenu vidnog kuta i žarišne duljine objektiva kod konkretnog snimanja prikazan je na slici. Navedene su potrebne udaljenosti fotoaparata od objekta snimanja, te otvori zaslona za postizanje jednake dubinske oštine, koristeći 50mm objektiv. Više o dubinskoj oštini u poglavlju 3.2.2.1.



Slika Utjecaj različitih formata senzora na vidni kut objektiva i postavke pri snimanju

2.7.4. Osnovna podjela objektivna

Kao što je ranije spomenuto, objektivni se prema žarišnoj duljini mogu podijeliti u tri osnovne kategorije: srednji (standardni, „normalni“), širokutni i teleobjektivi. Osim navedenih, postoje i objektivni za specijalne namjene, kao što su: makroobjektivi, pomično-nagibni objektivni, superteleobjektivi, „riblje oko“, zrcalni (katadioptrijski) objektivni i dr. Također, objektivne razlikujemo i po tome da li imaju fiksnu žarišnu duljinu (primarni objektivni) ili promjenjivu žarišnu duljinu (zum objektivni). U narednim poglavljima bit će ukratko predstavljene karakteristike svakog od njih.

2.7.4.1. Srednji ili standardni objektivni

U ovu skupinu spadaju objektivni žarišnih duljina od cca 40mm do 60mm. 50mm objektivni ima vidni kut od 46° koji odgovara vidnom kutu ljudskog oka. Otuda popularan (mada pogrešan) naziv „normalni“ objektivni. On „vidi“ scenu poput našeg oka, gdje su prostorni odnosi (oblik, veličina i dubina) u potpunosti sačuvani. To su lagani, jeftini no vrlo kvalitetni objektivni, velike svjetlosne jačine (mali f-brojevi) koji daju fotografije odlične tehničke kvalitete.



Slika Canon EF 50mm f/1.4 USM, vidni kut: 46°

Karakteristike ovih objektivna najbolje se mogu iskoristiti kod snimanja portreta (ne izobličuju lice), kod snimanja pri lošim svjetlosnim uvjetima (mogućnost velikog otvora zaslona), te u novinskoj i uličnoj fotografiji gdje je težište na neposrednosti i prikazu stvarnosti. Početnici često nisu zadovoljni sa fotografijama napravljenim sa ovim objektivom, jer svoj manjak iskustva i/ili nedostatak ideja ne mogu prikriti optičkim efektima koje pružaju druge skupine objektivna, kao što je vizualna ekstremnost širokog kuta ili pak intimnost teleobjektiva.

2.7.4.2. Širokokutni objektivni

Širokutni objektivni su oni koji imaju žarišnu duljinu manju od 35mm. Vidni kut objektivna je širok (od 180° do 54°). Njime se hvata kadar puno šireg vidnog polja od vidnog polja ljudskog oka. Objekti bliži fotoaparatu često su izobličeni i znatno veći od onih udaljenijih. Minimalna udaljenost izoštravanja im je mala, tako da se objektu snimanja može prići vrlo blizu. Perspektiva je naglašena, linije iskrivljene, objekti na rubovima izgledaju izduženi. Radi male žarišne duljine imaju veliku dubinsku oštrinu. Ekstremni širokutni objektiv je tkz. „riblje oko“ koji ima vidni kut od 180° i žarišnu duljinu 8mm. Pogodni su za snimanje u skućenim zatvorenim prostorima, za snimanje velikih zgrada izbliza, kao i za snimanje prostranih pejzaža.

Ovdje je bitno napomenuti da, korištenjem širokokutnog objektivna na fotoaparatu sa manjim sensorom, radi faktora izrezivanja, neće biti moguće postići tako veliki vidni kut i takav efekt kao kod snimanja sa fotoaparatom koji ima sensor punog formata. Manji sensor zabilježit će manju površinu slike i time smanjiti vidno polje širokokutnog objektivna. Vidi Tablicu.



Slika Canon EF 20mm f/2.8 USM, vidni kut: 94°

2.7.4.3. Teleobjektivi

Objektivi kojima je žarišna duljina veća od 70mm pripadaju grupi teleobjektiva. Naziv proizlazi iz grčke riječi *thelos* što znači udaljen. Imaju uski vidni kut, što stvara dojam veće blizine objekta snimanja. Smanjuju prostor između planova, komprimiraju perspektivu, imaju malu dubinsku oštrinu.

Radi svoje specifične karakteristike da približavaju udaljene objekte snimanja, najviše se koriste za snimanje prirode, životinja, sporta i drugih motiva kojima je teško prići bliže, ili koje se želi izdvojiti iz pozadine.



Slika Canon EF 200mm f/2.8L II USM, vidni kut: 12°

Teleobjektivi su najčešće većih dimenzija i dosta su teški, pa je potrebno posebno paziti da brzina zatvarača bude dovoljno velika, da trešnja fotoaparata ne bi prouzrokovala neoštre snimke. Ako je žarišna duljina objektiva npr. 200mm, brzina zatvarača bi trebala biti barem 1/200 u slučaju kad se snima iz ruke (bez stativa). Ako se koristi objektiv koji ima ugrađen stabilizator slike, može se koristiti 3-5 koraka manje brzine zatvarača.

Efektivnu žarišnu duljinu teleobjektiva moguće je povećati upotrebom ekstendera (telekonvertera). To je optički sistem koji se postavlja između fotoaparata i objektiva. Ekstenderi sa faktorom 2x dvostruko će povećati žarišnu duljinu objektiva (npr. ekstender od 2x postavljen na 300mm objektiv stvarat će žarišnu duljinu od 600mm). No ovdje je bitno napomenuti da će se upotrebom ekstendera smanjiti svjetlosna jakost objektiva.



Slika Telekonverteri raznih proizvođača

2.7.4.4. Zum objektiv

U ovu skupinu spadaju objektiv koji nude nekoliko žarišnih duljina unutar jednog objektiv. Njihova je najveća prednost praktičnost i brzina kod samog kadriranja i snimanja, bez potrebe za mijenjanjem objektiv. Također, nije zanemariva ni prednost reduciranja opreme koju fotograf nosi sa sobom. Umjesto foto torbe sa barem tri fiksna objektiv (širokokutnog, normalnog i teleobjektiv), moguće je sve ove žarišne duljine smjestiti u samo jedan zum objektiv. Naravno da to za sobom vuče i neke kompromise. Da bi pokrili veći raspon žarišnih duljina, zum objektiv su sastavljeni od više leća. Radi toga je njihova oština nešto manja od oštine koju daju fiksni objektiv pri istoj žarišnoj duljini. Drugi kompromis je manja svjetlosna jačina zum objektiv. Oni imaju manji maksimalni otvor zaslona, pogotovo u rasponu kod većih žarišnih duljina.

Kod specificiranja zum objektiv, između ostalog, navodi se i tkz. **zum faktor**. To je omjer maksimalne i minimalne žarišne duljine zum objektiv. Npr. zum teleobjektiv žarišnih duljina 80-200mm ima zum faktor 2,5; dok širokokutni zum objektiv od 17-55mm ima zum faktor 3,235. Najkvalitetniji objektiv imaju manji raspon zuma, sa zum faktorom između 2,5 i 3.



Slika Nikon 18-200mm f/3.5-5.6G IF-ED AF-S VR DX, vidni kut:78° - 8°

Nova generacija zum objektiv manjih je dimenzija i težine, a nudi znatno širi raspon žarišnih duljina (slika). No, kod takvih objektiv koji u sebi sadrže raspon od širokog kuta do telefoto žarišnih duljina, tehnički je nemoguće ispraviti distorziju leća podjednako kvalitetno u cijelom rasponu žarišnih duljina.

Većina proizvođača danas u svojoj ponudi objektiv, nudi liniju objektiv za amatere, napredne amatere i za profesionalce, koji se značajno razlikuju u cijeni (i kvaliteti). Kao što je ranije spomenuto, profesionalni objektiv se od amaterskih razlikuju u konstrukciji, korištenim materijalima, svjetlosnoj jačini (maksimalnom otvoru zaslona) i rasponu zuma koji pokrivaju. Obično su manjeg raspona, koji najčešće obuhvaća samo široki do normalni vidni kut ili samo područje uskog kuta.

2.7.4.5. Objektivi za specijalne namjene

- **Pomično-nagibni objektivi (TS-Tilt and Shift)**

Tilt (nagib) i shift (pomak) označavaju dvije osnovne mogućnosti gibanja prednje leće tih objektivna. Tilt ili nagib je definiran kao kut koji zatvara ravnina prednje leće i ravnina senzora (filma). Time se kontrolira orijentacija žarišne ravnine, što za posljedicu ima da je samo dio slike oštar. Shift ili pomak predstavlja pomak osi objektivna spram osi fotoaparata pri čemu prednji element objektivna i senzor ostaju u paralelnim ravninama. Tako se npr. pri fotografiranju visokih zgrada izbjegavaju rušeće linije tj. one ispadaju paralelne. Koriste se pri fotografiranju arhitekture, a mogu se koristiti kao trik objektivna za izradu prividnih minijatura.



Slika Gibanje leća kod pomično-nagibnog objektivna



Slika Primjer fotografija snimljenih sa nagibom (lijeva) i pomakom (desna slika)

- **Makro objektivi**

U ovu kategoriju spadaju objektivna kojima se mogu snimati motivi u omjeru 1:1 (ili većem), dakle da je motiv koji snimamo iste (ili veće) veličine na slici kao što je u stvarnosti. Povećanje objektivna definirano je omjerom veličine projicirane slike na senzor i stvarne veličine objekta kojeg snimamo. Povećanje od 1:2 je povećanje od jedne polovine, što znači da će objekt koji snimamo biti duplo manji na fotografiji. Povećanje od 1:4 znači da će objekt na fotografiji biti jednu četvrtinu dimenzija objekta

kojeg snimamo. Na tržištu fotografske opreme čest je slučaj da se na objektivima koji imaju spomenuta povećanja, od 1:4 do 1:2, nalazi oznaka *Macro* (kod Nikona *Micro*) koja govori da se radi o makro objektivu. No to zapravo nije točno! To su objektivni za tkz. snimanje iz blizine (eng. *close-up*). Prava makrofotografija pokriva povećanja od 1 do 10 (tj. od 1:1 do 10:1).



Slika Fotografija snimljena makro objektivom (lijevo) i Canon MP-E 65mm f/2.8 5:1 Macro Photo

Makro objektivni konstruirani su tako da mogu snimati na jako maloj minimalnoj udaljenosti snimanja. Takvim objektivom moguće se sasvim približiti objektu snimanja, a da bi to bilo moguće bilo je potrebno riješiti problem izoštravanja, kao i problem aberacija i izobličenja. Upravo su radi svoje složene konstrukcije i izvedbe, ovi objektivni znatno skuplji od standardnih objektivni sličnih žarišnih duljina.

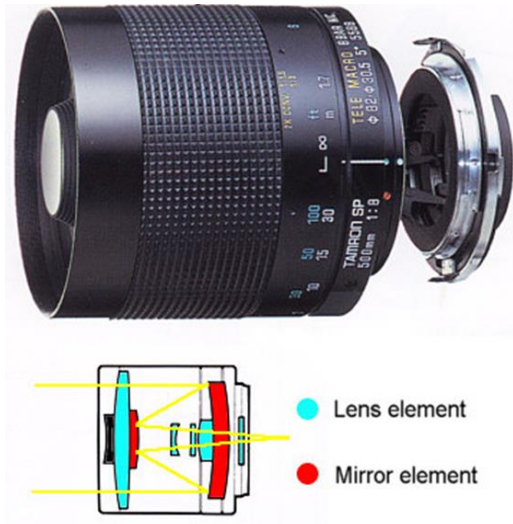
Izrađuju se kao objektivni fiksne žarišne duljine, najčešće kao 50mm ili 100mm objektivni. Imaju vrlo mali minimalni otvor zaslona od f/32. Kod makro snimanja često se koriste mali otvori zaslona radi postizanja veće oštrote objekta snimanja, zbog toga što se područje dubinske oštrote značajno smanjuje što smo bliže objektu snimanja.

Kao jeftinija varijanta opreme za snimanje makro fotografija mogu poslužiti tkz. makro prstenovi (eng. *extension tubes*). Postavljaju se između objektivni i kućišta fotoaparata. Time se smanjuje minimalna udaljenost izoštravanja, pa se može prići bliže objektu snimanja, čime on postaje veći na slici.

- **Zrcalni (refleksni, katadioptrijski) objektivni**

Katadioptrijski ili zrcalni objektivni izvedeni su kao kombinacija zrcala i leća. Prednost te izvedbe je kompaktnost objektivni za svoju žarišnu duljinu. Na primjer, 500mm zrcalni objektivni može se smjestiti u cijev dugačku samo 12 centimetara. Radi svoje specifične konstrukcije, ovi objektivni ne pate od kromatske aberacije (oni reflektiraju svjetlost, a ne lome ga kao ostali objektivni). Radi toga je za njihovu izgradnju potrebno manje dijelova, pa su znatno lakši od konvencionalnih objektivni iste žarišne duljine. Ovakav dizajn objektivni pogodan je samo za uski vidni kut, pa se izrađuju samo u velikim

žarišnim duljinama, najčešće kao 500mm i 1000mm objektivu. Bokeh⁵ takvih objektivu je karakterističan: ima tamnu unutrašnjost. Glavni nedostaci ovih objektivu su ručno izoštravanje i samo jedan otvor zaslona, najčešće f/8 ili f/11. Radi nemogućnosti mijenjanja otvora zaslona, nisu pogodni za rad u automatskom modu, dobro rade samo u ručnom modu i u aperture priority modu.



Slika Zrcalni objektiv i fotografija snimljena zrcalnim objektivom

- **Riblje oko (fisheye) objektivu**

Sa žarišnim duljinama ispod 20mm započinje područje ekstremno širokokutnih, tzv *fish-eye* objektivu. Osim ekstremno male žarišne duljine, te objektivu karakterizira i ekstremno velik vidni kut od 180° ili čak 220°. Imaju široki dijametar i ispučenu prednju leću. Radi toga na njega nije moguće staviti navojni filter niti sjenilo (eng. *lens hood*), pa su oni obično ugrađeni u samo kućište objektivu. Fotografije snimljene ovim objektivima imaju veliku dubinsku oštrinu. Npr. pri otvoru zaslona f/8, dubinska oštrina se proteže od 30cm do beskonačnosti. Maksimalni otvor zaslona ovakvih objektivu je najčešće oko f/5.6. Postoji i nekoliko modela *fish-eye* objektivu na tržištu koji imaju i veće otvore zaslona (f/2.8), no oni imaju dijametar prednje leće od čak 20cm, radi čega su vrlo teški i skupi.



Slika *Fisheye* objektivu raznih proizvođača

⁵ Bokeh je izvorno japanski izraz koji označava neoštrinu u slici, tj. subjektivnu estetsku kvalitetu dijelova fotografije koji nisu u fokusu. Izravno je vezan za optičku kvalitetu objektivu i otvor zaslona.

Postoje dvije vrste *fisheye* objektiv: cirkularni i dijagonalni. Cirkularni se nazivaju tako zbog specifičnog kadra – gdje je cijela snimana scena smještena u krug u sredini kadra, a sve izvan kadra ostaje crno. Dijagonalni *fisheye* objektiv daje sliku preko cijelog kadra, ali obuhvaća nešto manji dio vidnog polja u usporedbi s cirkularnim. Npr. dijagonalni objektiv sa žarišnom duljinom od 15mm pokrije vidni kut od 180° po dijagonali snimka, dok cirkularni objektiv sa istom žarišnom duljinom (kao i onaj od 6mm) pokrije vidni kut od 220°.



Slika Lijeva fotografija snimljena je dijagonalnim, a desna cirkularnim *fisheye* objektivom

Snimanje ovim objektivima rezultira slikom vrlo različitom od one koju vidi ljudsko oko. Daju dramatičan efekt, sa sfernim izobličenjima koja se povećavaju prema rubovima kadra. Dodatno pojačavaju efekt prisutan kod svih širokokutnih objektiv, da bliski predmeti izgledaju iznimno povećani u odnosu na ostatak kadra. Upravo to doprinosi ostvarivanju dinamične i zanimljive kompozicije. No, upravo zbog specifičnog izgleda fotografija snimljenih ovim objektivima, imaju dosta ograničenu upotrebu. Koriste se i u znanstvene i dokumentarne svrhe, kao npr. za nadzorne kamere koje moraju pokriti što veći vidni kut, za fotografiranje neba u meteorologiji i astronomiji, i sl.

2.7.5. Greške leća i objektiv

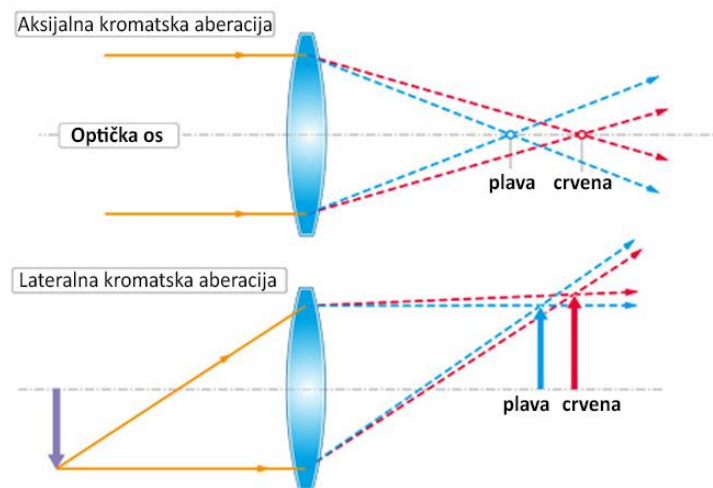
U optičkom sustavu kao što je objektiv, mogu se pojaviti određene greške - **aberacije**⁶. Greške leća očituju se u odstupanju od idealne projekcije. Ta odstupanja mogu biti različita, a mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine:

1. Odstupanja koja uzrokuju neoštrinu projicirane slike (kromatska aberacija, sferna aberacija, vinjetiranje, astigmatizam, izbočenost polja slike, koma).
2. Odstupanja koja uzrokuju greške u geometrijskoj perspektivi (geometrijska izobličenja ili distorzije).

⁶ Aberacija (lat. *aberratio*: skretanje s puta). U optici označava pojam koji opisuje pogrešku sustava leća koja stvara nejasnu sliku predmeta.

Kromatska aberacija (akromatizam) je greška radi koje objektiv ne izoštrava sve valne duljine svjetlosti u istoj točki. To se događa zato što pojedine boje spektra tj. valne duljine svjetlosti imaju različite indekse loma, pa se prolaskom kroz optički proziran medij lome pod različitim kutovima. Postoje dva tipa kromatske aberacije ovisno da li greška nastaje duž optičke osi (longitudinalna) ili okomito na optičku os objektivna (transferzalna).

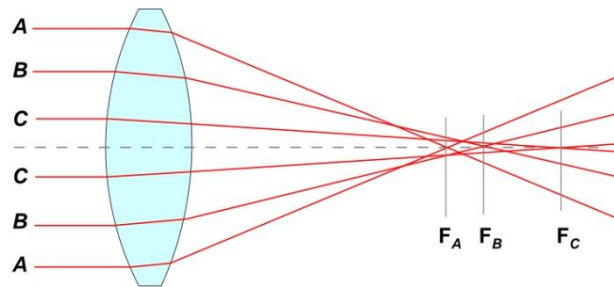
- **Longitudinalna (aksijalna ili uzdužna) kromatska aberacija** događa se radi razlika u udaljenosti žarišne točke pojedinih boja (valnih duljina) na optičkoj osi objektivna. Udaljenost na osi objektivna pri kojoj je npr. plava boja u žarištu, nije ista kao udaljenost pri kojoj je npr. crvena boja u žarištu. Posljedica toga je da imamo više slika različite veličine i u različitim bojama, ali samo je jedna od njih u žarištu. Ova pojava se može pojaviti bilo gdje na slici, ali je najizraženija na perifernim dijelovima izrazito svijetlih dijelova slike. Veličina greške ovisi o otvoru zaslona (veća je kod velikih otvora zaslona).
- **Transferzalna (lateralna ili poprečna) kromatska aberacija** očituje se da se u jednoj ravnini na koju objektiv projicira sliku (na okomitu os objektivna), slika predmeta iste veličine pojavljuje kao više slika različite veličine u različitim bojama i sve su u istoj ravnini oštine. Rezultira pojavom obojanih granica na rubovima kontrastnih objekata snimanja (npr. grane drveća ispred svijetlog neba). Ne ovisi o otvoru zaslona, već o žarišnoj duljini objektivna (veća je kod objektivna sa većom žarišnom duljinom).



Slika aksijalna i longitudinalna kromatska aberacija

Longitudinalna kromatska aberacija ispravlja se tako da se u konstrukciji objektivna koriste leće različitog indeksa loma. Kod jeftinijih objektivna može se smanjiti pri snimanju sa manjim otvorima zaslona. Transferzalnu aberaciju teže je ispraviti, pogotovo na rubu. Za njeno ispravljanje, a posebno kod objektivna veće žarišne duljine i veće svjetlosne jakosti, koriste se specijalni, vrlo skupi materijali poput fluorida. Takvi objektivna se nazivaju apokromati – imaju oznaku APO (eng. *apochromatic*) i izuzetno su kvalitetni, ali i skupi. Kromatske aberacije moguće je ukloniti i softverski. Bolji fotoaparati imaju procesore sa algoritmima za uklanjanje tih aberacija.

Sferna aberacija je greška koja se javlja radi zakrivljenosti leće. Naime, kut loma svjetlosne zrake ovisi o njenom kutu upada na površinu leće. Kad snop paralelnih svjetlosnih zraka dođe do zakrivljene leće, radi različitog kuta upada, one se ne lome sve u istoj žarišnoj točki. Zrake bliže centru leće lome se u točki koja je udaljenija, a zrake koje se lome na rubovima leće, lome se pod većim kutom i tvore fokus bliže leći. Posljedica toga je neoštra slika – beskonačno udaljeni točkasti izvor ne reproducira se kao točka, već kao kružić.

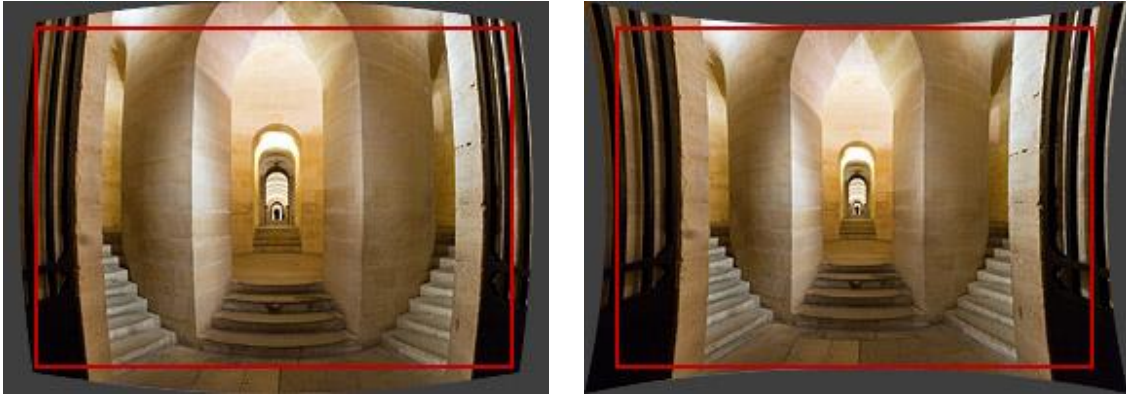


Slika Sferna aberacija (gdje su F_A , F_B , F_C točke fokusa upadnih A, B i C zraka)

Kod objektivna sa fiksnom žarišnom duljinom ova greška uklanja se, odnosno poništava kombinacijom pozitivne i negativne leće koje imaju suprotne vrijednosti sferne aberacije. Takvi objektivni omogućuju veće otvore zaslona, no radi svoje kompliciranije konstrukcije i većeg broja leća, dosta su skuplji. Kod zum objektivna velikog raspona žarišnih duljina, ovaj problem je dosta teško riješiti dodavanjem leća (jer takvi objektivni sami po sebi imaju puno leća), pa se zato izrađuju sa manjim otvorima zaslona. Manji zasloni (veći f broj) smanjuju sfernu aberaciju, jer se zrakama sa ruba leće onemogućuje prolaz. Kod kvalitetnijih zum objektivna ugrađuju se leće koje imaju asferičnu površinu (višestruko su skuplje od sferičnih) ili se koriste leće sa velikim indeksom loma (što je indeks loma stakla veći to zakrivljenost površine može biti manja za isti lom svjetla). Neke vrste portretnih objektivna, kao i tkz. *soft focus* objektivni, konstruirani su tako da koriste sfernu aberaciju kao prednost. Oni mogu kontrolirati mekoću slike povećanjem ili smanjenjem sferne aberacije pomicanjem jedne od korekcijskih leća unutar objektivna.

Distorzija ili geometrijska izobličenja objektivna nastaju kao posljedica asimetričnosti u konstrukciji objektivna i zbog zaslona koji se koristi za regulaciju količine svjetlosti koja prolazi kroz otvor objektivna. Naime, prilikom prolaska svjetlosti kroz zaslon objektivna, cijeli snop svjetlosti ne propušta se na isti način. Jedino se centralna zraka, koja prolazi kroz središte leće, ne otklanja prilikom prolaska kroz zaslon. Rubni snopovi svjetlosti se prolaskom kroz zaslon otklanjaju. Dva su slučaja distorzije, ovisno o tome gdje se, unutar kućišta objektivna, nalazi zaslon.

- Ako se zaslon nalazi ispred leće, zrake skreću prema centru. Rubovi, a pogotovo kutovi slike, ugibaju se prema unutra (jer je put zrake do njih najduži), pa stranice snimljenog objekta izgledaju kao da su izbočene. Ta vrsta distorzije se zove **bačvasta distorzija** (eng. *barrel image distortion*).
- Ako je pak zaslon smješten iza leće, rubne zrake otklanjaju se od centra. Rubovi i kutovi slike se izdužuju, pa se taj tip distorzije naziva **jastučasta distorzija** (eng. *pincusion image distortion*).



Slika lijevo je prikazana bačvasta distorzija, a desno jastučasta distorzija

Teleobjektivi i širokokutni objektivi imaju asimetričnu konstrukciju, pa je kod njih izražen problem geometrijskog izobličenja. Tako su kod teleobjektiva prisutna jastučasta izobličenja, a kod širokokutnih objektiva bačvasta. Zum objektivi koji pokrivaju širok raspon vidnih kutova često imaju obje vrste izobličenja koje su najizraženije na krajevima zuma. Ove distorzije ispravljaju se ugradnjom posebnog optičkog elementa za korekciju, a moguće su i naknadne korekcije u softveru za editiranje slika.

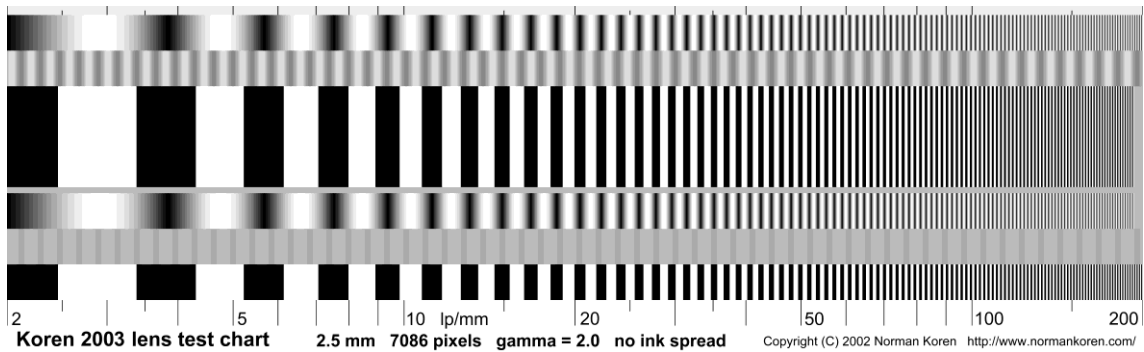
Ovdje je bitno naglasiti da se uobičajeni efekt perspektivnog izobličenja, prisutan kod snimanja sa širokokutnim objektivom, ne treba poistovjetiti sa ovdje opisanim geometrijskim izobličenjem. Npr. kad snimamo zgradu sa širokokutnim objektivom uobičajeno je da su, radi perspektivnog izobličenja, linije zgrade kose, ali ravne. Kod manje kvalitetnih objektiva sa izraženom distorzijom, linije zgrade su iskrivljene.

2.7.6. Kvaliteta objektiva i MTF graf

U novije vrijeme, proizvođači objektiva u katalogima svoje opreme sve češće objavljuju i rezultate testiranja leća u obliku MTF grafa. No, uz kompleksan prikaz grafa, rijetko dolazi i objašnjenje koje bi korisniku pomoglo u boljem razumijevanju grafa. Zato će u ovom poglavlju biti ukratko objašnjeno kako „čitati“ MTF krivulje.

MTF graf (eng. *modulation transfer function*) ili **modulacijsko prijenosna funkcija** objektivni je pokazatelj tehničkih performansi objektiva. Prikazuje rezoluciju i kontrast objektiva od centra do rubova slike, pri maksimalnom otvoru zaslona i pri otvoru zaslona $f/8$. Navedeni zaslon koristi se kao „optimalni“ zaslon pri kojem se mogu dobiti najbolji rezultati, dok su pri maksimalnom otvoru zaslona odstupanja najveća zbog izraženijih aberacija.

Graf se izrađuje iz vrijednosti dobivenih snimanjem testne karte sa nizom sve tanjih i manjih crnih linija. Jedan niz linija je frekvencije tj. rezolucije 10 lp/mm (linija po milimetru) i koristi se da se testira kontrast objektiva, a drugi set od 30 lp/mm koristi se kao indikator rezolucije tj. oštine objektiva.

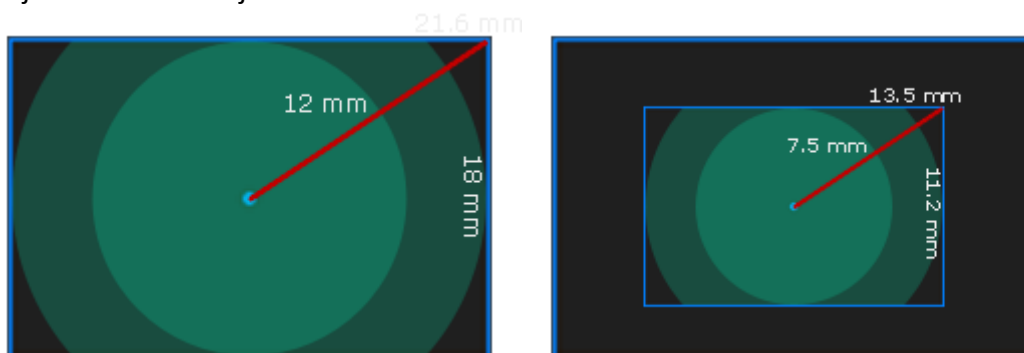


Slika Primjer testne karte

Teoretski, savršen objektiv snimio bi uzorke sa testne karte tako da su crne linije savršeno crne, a bijele savršeno bijele. U praksi, radi aberacije i difrakcije, koje nije moguće u potpunosti ispraviti, crne linije su svjetlije, a bijele tamnije. Kontrast se smanjuje, pa je modulacija uvijek manja od 100%. Matematički, modulacija je definirana izrazom:

$$M = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(I_{max} + I_{min})}$$

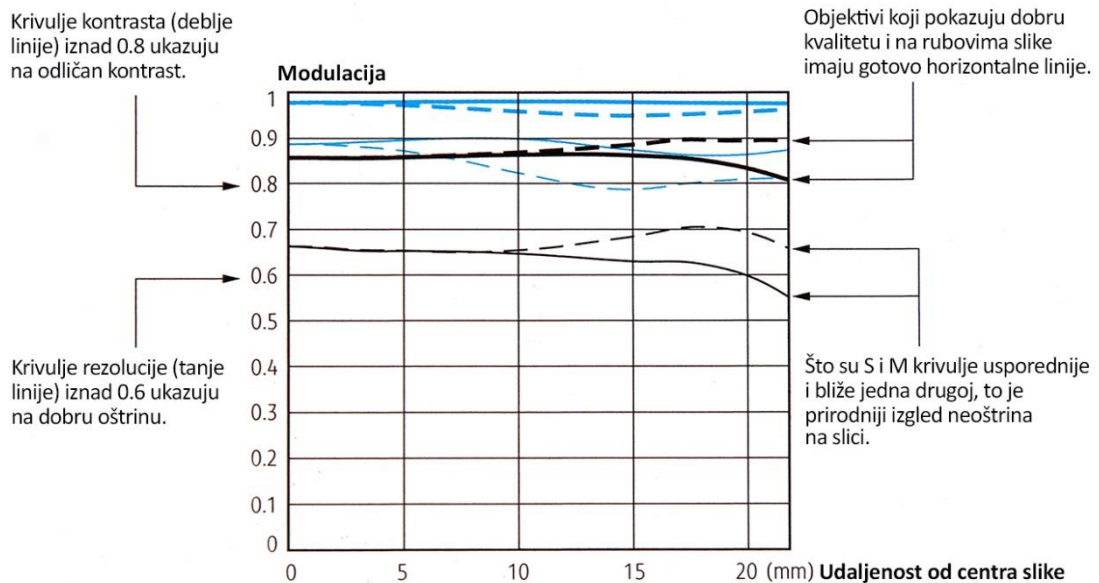
gdje su I_{max} i I_{min} maksimalni i minimalni intenzitet, na testnoj karti ili na snimci testne karte. Prati se sposobnosti objektiva da reproducira linije sa testne karte koje su paralelne sa dijagonalom slike (oznaka S – *Sagittal*) i okomite na dijagonalu slike (oznaka M – *Meridional*). Na MTF grafikonu, na ordinati su prikazane modulacije od 0-100% (kao vrijednosti od 0-1), a na apscisi udaljenosti od centra slike do najudaljenijeg kuta slike. Ta udaljenost ovisi o formatu senzora, jer je potreban različit radijus objektiva da se pokrije različit format senzora. Za objektiv konstruiran za korištenje na SLR fotoaparatu sa senzorom punog formata ta udaljenost iznosi 21.6 mm, dok je za APS-C senzore ta udaljenost 13.5 mm. Za zum objektivne rade se grafovi za najmanju i za najveću žarišnu duljinu.



Slika Lijevo: udaljenost od centra slike do najudaljenijeg kuta slike kod senzora punog formata, desno: kod APS-C senzora

Na primjeru MTF grafa za Canon EF 135mm f/2L USM objektiv, objasniti će se značenje pojedinih krivulja. Ukupno je prikazano osam krivulja. Svaka krivulja treba se promatrati zasebno, jer predstavlja MTF pri različitim uvjetima.

- Crnom **bojom** označene su krivulje dobivene snimanjem sa maksimalnim otvorom objektiva (kod ovog modela to je $f/2$), dok su plavom bojom prikazane krivulje dobivene snimanjem sa zaslonom $f/8$.
- Krivulje variraju i u **debljini** – deblje linije predstavljaju MTF vrijednosti za kontrast (reprodukcija 10 lp/mm linija), a tanje predstavljaju rezoluciju finih detalja (30 lp/mm).
- Krivulje također variraju i **vrsti linije** – isprekidane linije predstavljaju mjerenja MTF po koncentričnim kružnicama od centra (M), a pune linije za mjerenje MTF po radijalnim linijama koje izlaze iz centra slike (S).



Prostorna frekvencija	Max. otvor zaslona		f/8	
	S	M	S	M
10 lp/mm	—	- - - -	—	- - - -
30 lp/mm	—	- - - -	—	- - - -

Slika MTF graf za Canon EF 135mm f/2L USM objektiv

Literatura i linkovi:

<http://www.cahayabox.net/2011/02/01/od-cega-se-sastoji-dslr/>

<http://www.digitalcameraworld.com/2013/08/03/dslr-vs-csc-which-one-is-right-for-you/3/>

<http://www.slrlounge.com/dslr-vs-mirrorless-cameras-future-of-photography/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_single_lens_reflex_camera

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/digital-camera-sensor-size.htm>

<http://www.clarkvision.com/articles/does.pixel.size.matter/>

<http://www.digitalcameraworld.com/2015/01/21/camera-technology-photography-2015/>

<http://www.cnet.com/news/nikon-debuts-pair-of-more-compact-lenses-at-ces-2015/>

<http://www.digitalcameraworld.com/2014/12/31/digital-camera-predictions-2015/>

<http://camerasize.com/compare/>

<http://www.dpreview.com/reviews/>

http://www.canon.com/technology/canon_tech/explanation/35mm.html

http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/RIP03_AD_zaslon.pdf

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/lens-quality-mtf-resolution.htm>

http://www.canon.com/technology/s_lab/light/003/02.html

<http://www.dpreview.com/glossary>

3. OSNOVNE POSTAVKE DIGITALNOG FOTOAPARATA

3.1. Ekspozicijski trokut

3.2. Postavke koje utječu na ekspoziciju

3.2.1. Podešavanje ISO osjetljivosti

3.2.2. Podešavanje otvora zaslona

3.2.2.1. Kontrola dubinske oštine

3.2.3. Podešavanje brzine zatvarača

3.2.4. Dodavanje svjetla – fill in bljeskalica

3.2.5. Kontrola ekspozicije

3.2.5.1. Odabir načina snimanja (shooting mode)

3.2.5.2. Odabir načina mjerenja (metering mode)

3.2.5.3. Kompenzacija ekspozicije

3.2.5.4. Korištenje histograma

3.3. Odabir veličine slike

3.4. Odabir formata zapisa

3.5. Podešavanje ravnoteže bijele boje

3.5.1. Utjecaj temperature boje svjetla na reprodukciju boja

3.5.2. Siva karta

3.6. Optimiziranje slike

3.7. Podešavanje načina fokusiranja (auto/manual)

3.8. Podešavanje načina okidanja (drive mode)

U ovom poglavlju...

što je ekspozicija, međuovisnost otvora zaslona – brzine zatvarača – ISO osjetljivosti, pregled postavki najvažnijih za snimanje i njihov utjecaj na snimljenu sliku.

3.1. Ekspozicijski trokut

Jedan od glavnih preduvjeta za dobivanje tehnički kvalitetne fotografije je da pri snimanju moramo koristiti ispravnu ekspoziciju. Nepravilnom ekspozicijom i najljepši motiv i kadar možemo upropastiti. Zato je od velike važnosti poznavati i razumjeti načine na koje se, pri samom snimanju, može utjecati na ekspoziciju.

Ekspozicija je ukupna količina svjetla koja padne na fotoosjetljivi sloj (film ili senzor). Može se izraziti kao umnožak intenziteta svjetla koje pada na fotoosjetljivu površinu i vremena osvjetljavanja.

$$E = I \times t \quad (I \dots \text{intenzitet svjetla}, t \dots \text{vrijeme osvjetljavanja})$$

Ako je ta ukupna količina svjetla koja dolazi do senzora premala – dobivamo podeksponiranu (pretamnu) fotografiju, a ako je došlo previše svjetla – fotografija je preekspanirana (presvijetla). Intenzitet svjetla se regulira **otvorom zaslona** objektiva, a vrijeme osvjetljavanja – **brzinom zatvarača**. Dakle, veličina otvora zaslona određuje koliko svjetla će biti propušteno, a brzina zatvarača koliko vremenski traje osvjetljavanje. Osim o otvoru zaslona i brzini zatvarača, ekspozicija ovisi i o osjetljivosti sloja (filma ili senzora) na svjetlo – **ISO vrijednosti**. Iako postavka ISO osjetljivosti neće direktno utjecati na količinu svjetla koja dolazi do senzora, ona će utjecati na efekt koji će ta količina svjetla proizvesti. Kontroliranjem ta tri faktora može se postići ispravna ekspozicija na fotografiji.

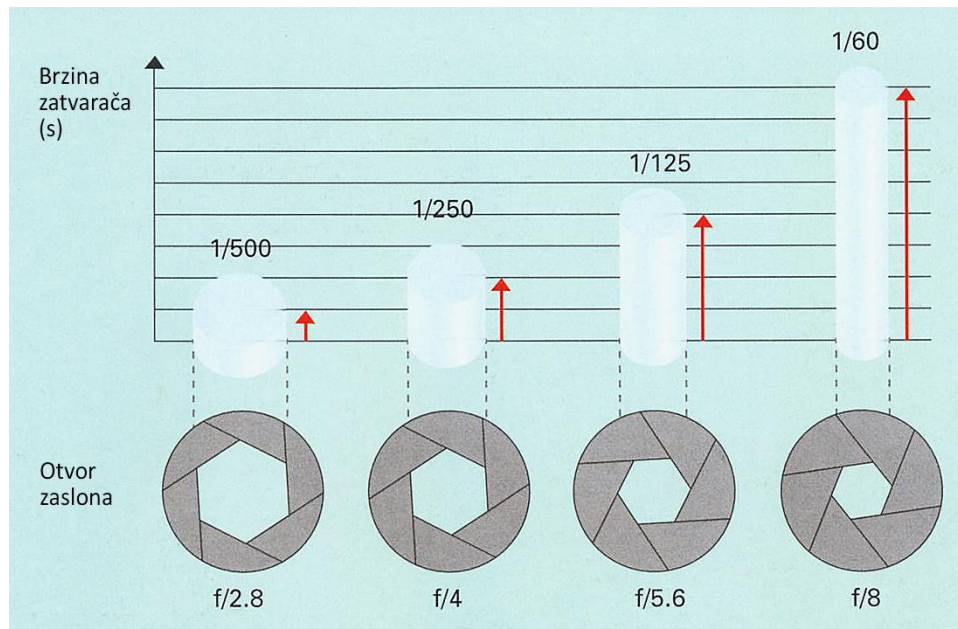


Slika Međuovisnost otvora zaslona – brzine zatvarača – ISO osjetljivosti

Tehnički gledano, ispravna ekspozicija je kad na fotografiji bijeli i crni tonovi izgledaju zaista bijelo i crno, ali da se pri tome gubi što je manje moguće detalja. No u pravom fotografskom smislu, ispravna ekspozicija bi bila ona ekspozicija kod koje fotograf

postigne željeni efekt. Jer, otvorom zaslona, ne samo da određujemo intenzitet propuštenog svjetla, već utječemo i na dubinsku oštrinu. Sposobnost kontrole dubinske oštine vrlo je bitna kvaliteta koja često čini razliku između amatera i iskusnog fotografa. Isto tako, brzinom zatvarača određujemo kako ćemo na fotografiji zabilježiti objekt u pokretu, da li će on biti zamrznut ili mutan.

Ispravno eksponirana fotografija može se dobiti sa različitim kombinacijama otvora zaslona i brzine zatvarača. Za određenu kombinaciju otvora zaslona i brzine zatvarača kaže se da je to neka vrijednost ekspozicije, tj. **ekspozicijska vrijednost EV** (eng. *Exposure Value*), a za neku drugu kombinaciju koja propušta istu količinu svjetla, da je to ekvivalentna ekspozicija. Tada te kombinacije imaju istu EV. Bitno je znati da su otvor zaslona i brzina zatvarača međusobno u recipročnom odnosu. Dakle, ako se za jednu vrijednost smanji brzina zatvarača, onda se otvor zaslona treba za jednu vrijednost povećati. I obrnuto.

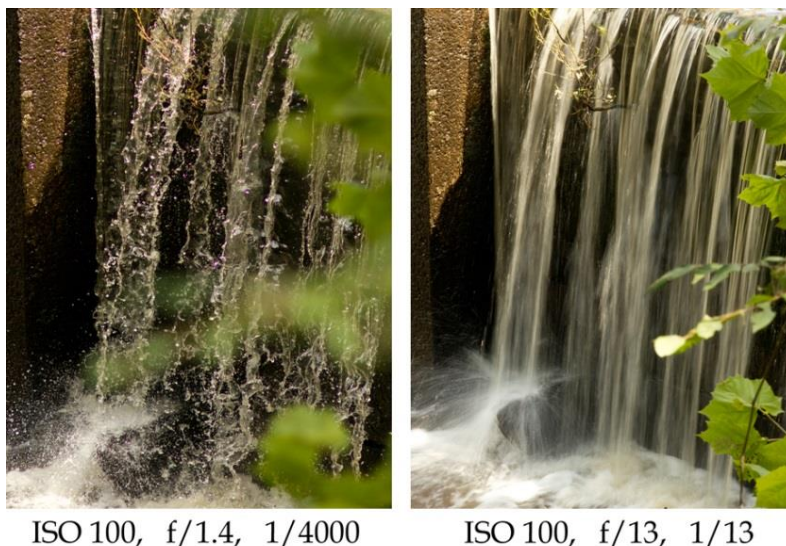


Slika Različite kombinacije otvora zaslona i brzine zatvarača koje propuštaju istu količinu svjetla

Brzina zatvarača		1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4
Otvor zaslona	ISO 100	f:1.4	f:2	f:2.8	f:4	f:5.6	f:8	f:11	f:16	f:22
	ISO 200	f:2	f:2.8	f:4	f:5.6	f:8	f:11	f:16	f:22	f:32
	ISO 400	f:2.8	f:4	f:5.6	f:8	f:11	f:16	f:22	f:32	f:45

Tablica Kombinacija brzine zatvarača i otvora zaslona pri ISO vrijednosti 100, 200 i 400

No, iako kombinacije tih postavki na fotoaparatu mogu dati istu ekspoziciju, ne znači da daju i jednaku sliku. Npr. uz velik otvor zaslona f/2.8 i veliku brzinu zatvarača 1/500, dubinska oštrina je mala, a kretanje zamrznuto, dok je kod malog otvora zaslona f/8 i male brzine 1/60, dubinska oštrina velika, a kretanje zamućeno.



ISO 100, f/1.4, 1/4000

ISO 100, f/13, 1/13

Slika Primjer ispravne ekspozicije sa različitom interpretacijom motiva

3.2. Postavke koje utječu na ekspoziciju

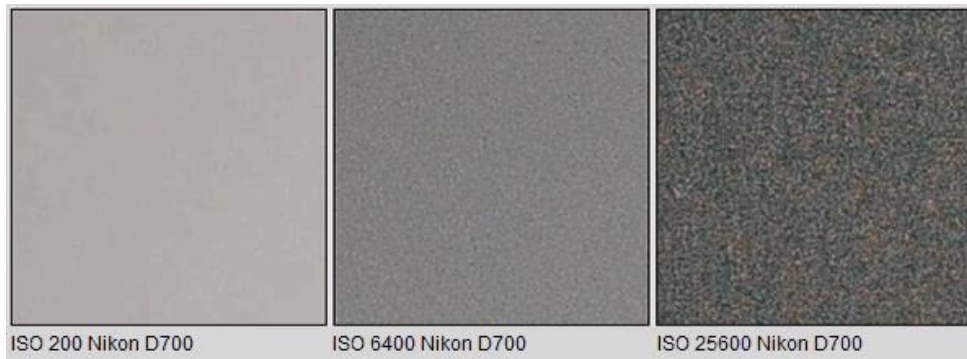
Kao što smo vidjeli u prethodnom poglavlju, o postavkama otvara zaslona, brzine ekspozicije i ISO osjetljivosti, uvelike ovisi kvaliteta snimljene fotografije. I to ne samo u tehničkom smislu – dobivanja ispravno ekspanirane fotografije, već i u estetskom – u načinu interpretacije snimane scene. Radi svoje velike važnosti, ove postavke bit će dodatno pojašnjene u poglavljima koja slijede.

3.2.1. Podešavanje ISO osjetljivosti

O osjetljivosti senzora i tome što se događa sa senzorom kod namještanja većih ISO vrijednosti, bilo je riječi u poglavljima 2.4.5 i 2.4.6. U ovom poglavlju bit će objašnjena praktična primjena ISO postavke na fotoaparatu i njen utjecaj na snimljenu fotografiju.

ISO je standard za mjerenje osjetljivosti filma. Proizvođači digitalnih fotoaparata usvojili su ISO kao standard kojim označavaju osjetljivost senzora na svjetlo. Veći ISO broj označava veću osjetljivost na svjetlo. Fotoaparat je moguće podesiti između cca ISO 100 - 6,400 (kod novijih profesionalnih modela i do 25,600), u koracima po 1/3. Kod nekih fotoaparata postoji opcija proširenja skale ISO osjetljivosti⁷ (*ISO expansion – oznaka L ISO 50 i H ISO 204,800*). No, sam senzor ima **jednu bazičnu osjetljivost** i najčešće je to ISO 100. Postavka ISO 200 znači da je senzor dva puta osjetljiviji na svjetlo od ISO 100, a kod postavke ISO 400 znači da je četiri puta osjetljiviji od ISO 100. Visoka ISO osjetljivost pogodna je za snimanje objekata u kretanju ili u uvjetima slabog svjetla. No, tako snimljene fotografije će sadržavati smetnje – **šum**, uz manje oštrine. Kod veće ISO vrijednosti signal koji se dobije od fotona svjetla na senzoru se elektronički pojačava. Pojačanjem željenog signala, pojačava se i pozadinski elektronički šum koji je prisutan u svim elektroničkim napravama.

⁷ Canon EOS-1D X i Nikon D4



Slika Šum pri ISO 200, 6400 i 25600

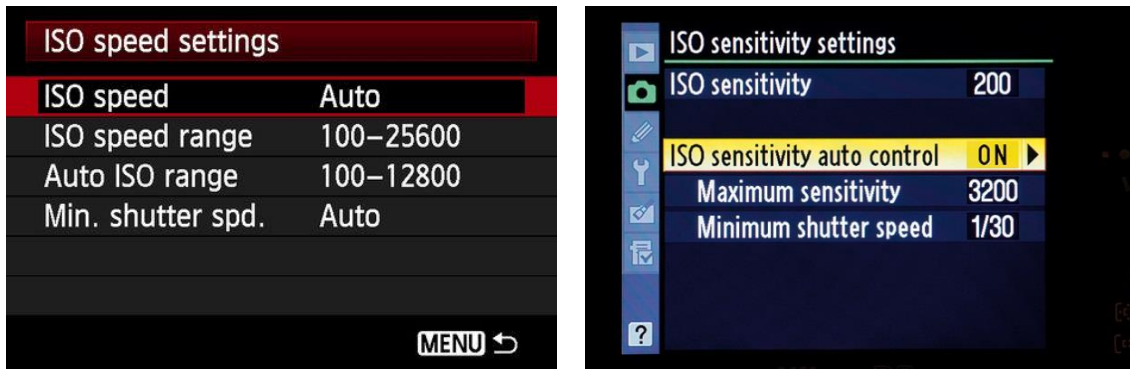


Slika Šum na fotografiji snimljenoj sa ISO 200 i 3200

Pri odabiru ispravne ISO vrijednosti treba paziti na slijedeće:

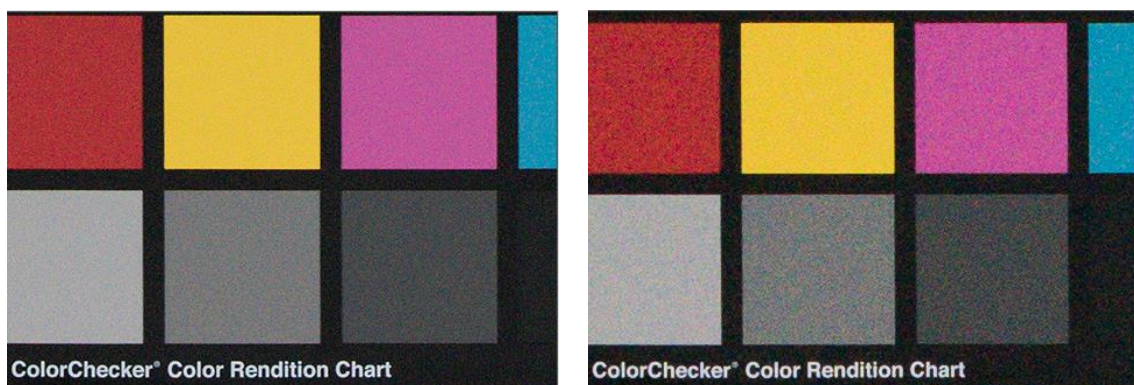
- **Koliko je svjetla na raspolaganju pri snimanju?** Ako se snima pri dobrim svjetlosnim uvjetima, onda je najbolje koristiti najnižu ISO vrijednost.
- **Da li se pri snimanju u lošijim svjetlosnim uvjetima koristi stativ?** Ako da, onda se može koristiti niža ISO vrijednost i manja brzina zatvarača, bez bojazni da će fotografija biti mutna zbog pomicanja fotoaparata. Ako ne, onda je potrebna veća brzina zatvarača i veća ISO vrijednost.
- **Da li je motiv snimanja statičan ili je u pokretu?** Ako motiv koji je u pokretu želimo dobiti oštar, onda moramo koristiti veće brzine zatvarača, primjerice 1/500 sekunde (ovisno o brzini kretanja motiva). Kod snimanja motiva u pokretu pri slabijim svjetlosnim uvjetima (npr. sport u zatvorenom, koncert, predstava), manjak svjetla potrebno je kompenzirati povećanom ISO vrijednošću.
- **Da li je za motiv snimanja potrebna velika dubinska oština?** Za dobivanje velike dubinske oštine potrebno je zatvarati zaslon (veliki f-brojevi). Time smanjujemo količinu svjetla koja dolazi do senzora. To moramo kompenzirati duljom ekspozicijom ili/i povećanom ISO vrijednošću.
- **U kolikoj mjeri je bitno da na fotografiji nema šuma?** Povećanjem ISO vrijednosti povećava se šum na fotografiji. Ukoliko je bitno da šuma nema ili ga ima što manje, moraju se koristiti manje ISO vrijednosti, a manjak svjetla kompenzirati većim otvorom zaslona, duljom ekspozicijom, odnosno postavljanjem fotoaparata na stativ.

Osim ručnog podešavanja željene ISO vrijednosti, na većini fotoaparata postoji **funkcija AUTO ISO**. Kad je ta funkcija uključena, ona pomaže u izboru optimalne ISO vrijednosti, u slučajevima kad ručno podešena ISO vrijednost nije odgovarajuća za postizanje ispravne ekspozicije. Korisnik sam određuje raspon ISO vrijednosti koje će koristiti ta funkcija, tako što unosi minimalnu i maksimalnu ISO vrijednost. Nadalje, korisnik određuje pri kojoj minimalnoj brzini zatvarača će se uključiti ta funkcija. Ako brzina zatvarača padne ispod odabrane (npr. 1/30), AUTO ISO funkcija će se uključiti da kompenzira manjak svjetla povećanjem ISO vrijednosti.



Slika Izbornik za podešavanje automatske ISO funkcije na Canonu (lijevo) i na Nikonu (desno)

Iako se mnogi proizvođači fotoaparata danas hvale svojim najnovijim modelima sa nevjerojatno visokim maksimalnim ISO vrijednostima (čak ISO 409,600 - Nikon D4s), u praksi su upotrebljive granice znatno niže. One u velikoj mjeri ovise o veličini senzora. Manji senzori proizvode više šuma, jer su fotoosjetljivi elementi na njima obično manjih dimenzija. To znači da prikupljaju manje svjetla, pa se ti signali moraju pojačavati i za niže ISO vrijednosti. Za senzor formata APS-C (18MP) ta upotrebljiva gornja granica je cca ISO 1600. Sve ISO postavke iznad te vrijednosti daju fotografije sa prevelikom razinom šuma. Kod fotoaparata sa senzorom punog formata, moguće je koristiti i veće ISO vrijednosti do pojave neprihvatljive količine šuma.



Slika Šum na fotografiji snimljenoj sa ISO 3200 u jednakim uvjetima sa senzorom punog formata (lijevo) i sa senzorom APS-C formata (desno)

3.2.2. Podešavanje otvora zaslona

U poglavlju 2.7.1. o konstrukciji objektiva, vidjeli smo kako izgleda i gdje se unutar objektiva nalazi zaslon. U tekstu koji slijedi bit će objašnjeno na koji način određena postavka otvora zaslona utječe na ukupnu ekspoziciju, kao i na izgled slike, s dodatnim osvrtom na kontrolu dubinske oštine.



Slika Standardni otvori zaslona

Otvor zaslona izražava se tkz. ***f* - brojem**. F-broj je omjer žarišne duljine objektiva i promjera otvora objektiva. Predstavlja standardnu jedinicu koja je neovisna o pojedinom objektivu i fizičkoj veličini otvora. Veličina f-broja je obrnuto proporcionalna količini svjetla koje prolazi kroz objektiv. Što je f-broj manji, objektiv propušta više svjetla (u praksi kažemo da imamo „veliki zaslon“). Upravo se radi toga f-broj često piše kao razlomak, npr. f/5.6, gdje veći broj u nazivniku znači manji promjer otvora zaslona. Standardne vrijednosti f- broja su: **1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32**.

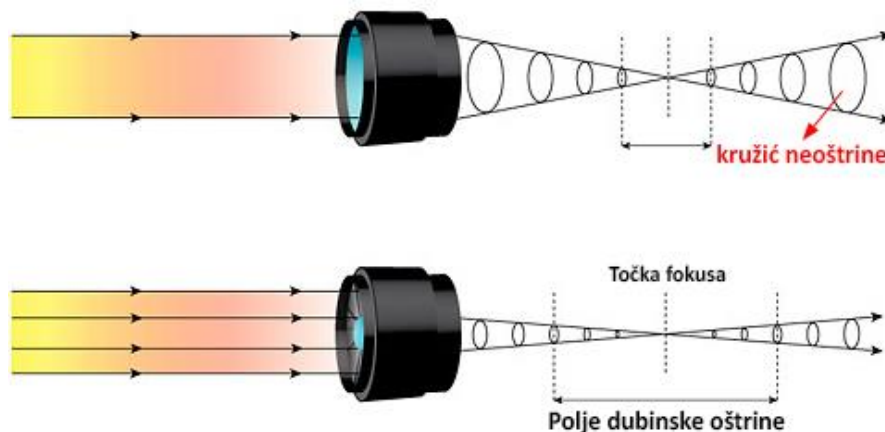
Budući da količina propuštenog svjetla ovisi o **površini** otvora kroz koji prolazi (a ne o promjeru), povećanje promjera za 2 puta (npr. sa f/8 na f/4), povećava količinu svjetla za 4 puta. Dakle, svaki f-broj u spomenutom nizu, označava duplu promjenu intenziteta svjetla. Svaka veća vrijednost (veći f-broj) znači da objektiv propušta duplo manje svjetla.

Pri fotografiranju u manualnom modu moramo biti svjesni međusobne povezanosti otvora zaslona, brzine ekspozicije i ISO osjetljivosti. Svaka promjena otvora zaslona vuče za sobom potrebu mijenjanja brzine ekspozicije, ili kompenzacije pomoću ISO osjetljivosti. Ako je otvor objektiva veći, kroz njega prolazi više svjetlosti pa je i vrijeme potrebno da se senzor osvjetli kraće. Ako je otvor objektiva manji, potrebno je više vremena za osvjetljavanje senzora (ili veća ISO osjetljivost senzora).

Osim što f-brojem kontroliramo količinu svjetla koja dolazi do senzora, utječemo i na polje dubinske oštine.

3.2.2.1. Kontrola dubinske oštine

Polje dubinske oštine, tkz. DOF (*depth of field*) je prostor ispred i iza ravnine na koju smo izoštrili unutar kojeg su predmeti još uvijek prihvatljivo oštri. Mogli bismo reći da je to - područje prihvatljive oštine na fotografiji. No iako „prihvatljivo oštro“ ne znači i „potpuno oštro“, jer je potpuna oština dobivena samo u jednoj ravnini na koju smo izoštrili, ona je prihvatljiva u smislu da našem oku izgleda oštro. Područje prihvatljive oštine određeno je promjerom tkz. kružića neoštine (*circle of confusion*). Sve što je na senzoru (punog formata) zabilježeno promjerom kružića od cca 1/30mm ili manjim, smatra se oštrim. Ovdje treba napomenuti da će se područje prihvatljive oštine činiti veće na fotografijama manjih dimenzija, nego na onima jako povećanima.



Slika Plitko i duboko polje dubinske oštine

Polje dubinske oštine može biti pliće ili dublje. Plitko polje znači da će samo jedan mali dio fotografije biti oštar (u fokusu), a duboko polje znači da će velik dio fotografije ili čak cijela fotografija biti oštra. Područje dubinske oštine proteže se približno 1/3 ispred točke koju smo izoštrili (točka fokusa) te 2/3 iza nje.

Postoje tri faktora kojima se utječe na polje dubinske oštine:

1. otvor zaslona,
2. žarišna duljina objektiva i
3. udaljenost od objekta snimanja.

Utjecaj otvora zaslona

Što je otvor zaslona manji (veći f-broj), područje dubinske oštine je veće, tj. povećava se zona prihvatljive oštine na fotografiji. Kako to objasniti? Kad prolaze kroz manji otvor zaslona, svjetlosne zrake tvore stožac sa manjim kutom, kod kojeg se promjer kružića neoštine sporo povećava sa odmicanjem od točke fokusa. Na taj način je veći dio prostora ispred i iza točke fokusa na slici prihvatljivo oštar. U praksi, veće otvore zaslona koristimo kad želimo motiv koji snimamo izdvojiti iz okoline. Na fotografiji (Slika) tigar je snimljen kroz rešetke i mrežu kaveza u zoološkom vrtu. Iako su rešetke bile u kadru, one su „nevidljive“ jer su radi velikog otvora zaslona potpuno neoštre. Za razliku od fotografije prolaza lijevo, koja ima veliku dubinsku oštinu postignutu korištenjem malog otvora zaslona.



Slika Primjer korištenja malog otvora zaslona ($f/16$) za postizanje velike dubinske oštine (fotografija lijevo) i korištenja velikog otvora zaslona ($f/2.8$) za dobivanje male dubinske oštine (fotografija desno)

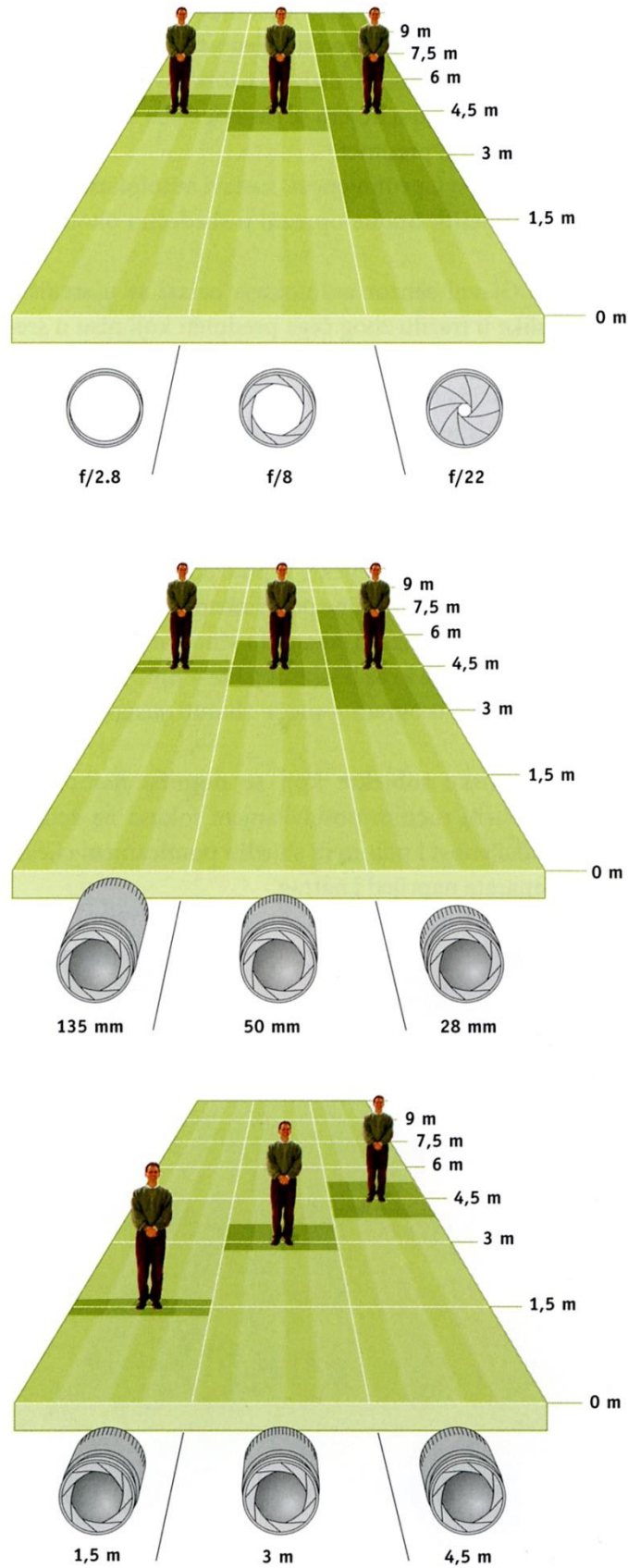
Utjecaj žarišne duljine objektiva

Objektivi koji imaju kraću žarišnu duljinu (širokokutni objektivi) zahvaćaju širi kut slike i daju veću dubinsku oštrinu u usporedbi sa objektivom veće žarišne duljine (teleobjektivi), uz uvjet da se snima sa istim otvorom objektiva i da je udaljenost od objekta snimanja jednaka. Zašto je to tako? Ovisnost dubinske oštine o žarišnoj duljini objektiva u vezi je s povećanjem objekta snimanja na slici. Objekt kojeg snimamo sa iste pozicije sa širokokutnim objektivom i sa teleobjektivom, zauzimat će različitu površinu kadra; teleobjektiv će ga na fotografiji prikazati većim, nego što će ga prikazati širokokutni objektiv. Dok je veličina objekta u oba slučaja oku jednaka, senzoru je ona razmjerna žarišnoj duljini. Kad su detalji na slici manji, teže je razabrati što je oštro a što nije, pa se uslijed toga dubinska oštrina čini većom. Za razliku od širokokutnih objektiva, objektivi veće žarišne duljine povećat će objekt snimanja kao i razlike u oštini, pa se pričinja da je dubinska oštrina smanjena.

Utjecaj udaljenosti od objekta snimanja

Što smo bliže objektu snimanja smanjuje se područje dubinske oštine na fotografiji. Promotrimo ponovo fotografiju tigra. Osim što je snimljena sa velikim otvorom zaslona, maloj dubinskoj oštini doprinijelo je korištenje teleobjektiva i snimanje na maloj udaljenosti od objekta snimanja. Ograda je kod snimanja bila udaljena svega par centimetara od objektiva i zato se ona na snimljenoj fotografiji gotovo ne vidi.

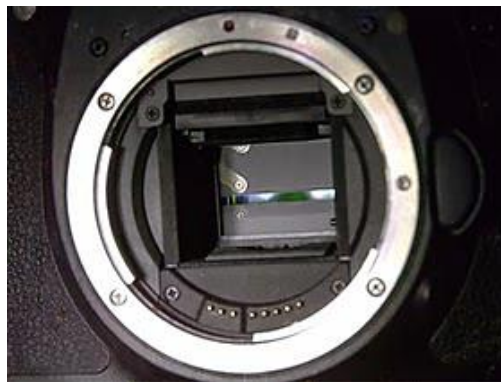
Osim ova tri faktora, na mogućnost postizanja željene dubinske oštine (male ili velike) utječe i **veličina senzora**. Kod manjih senzora prividna dubinska oštrina se povećava.



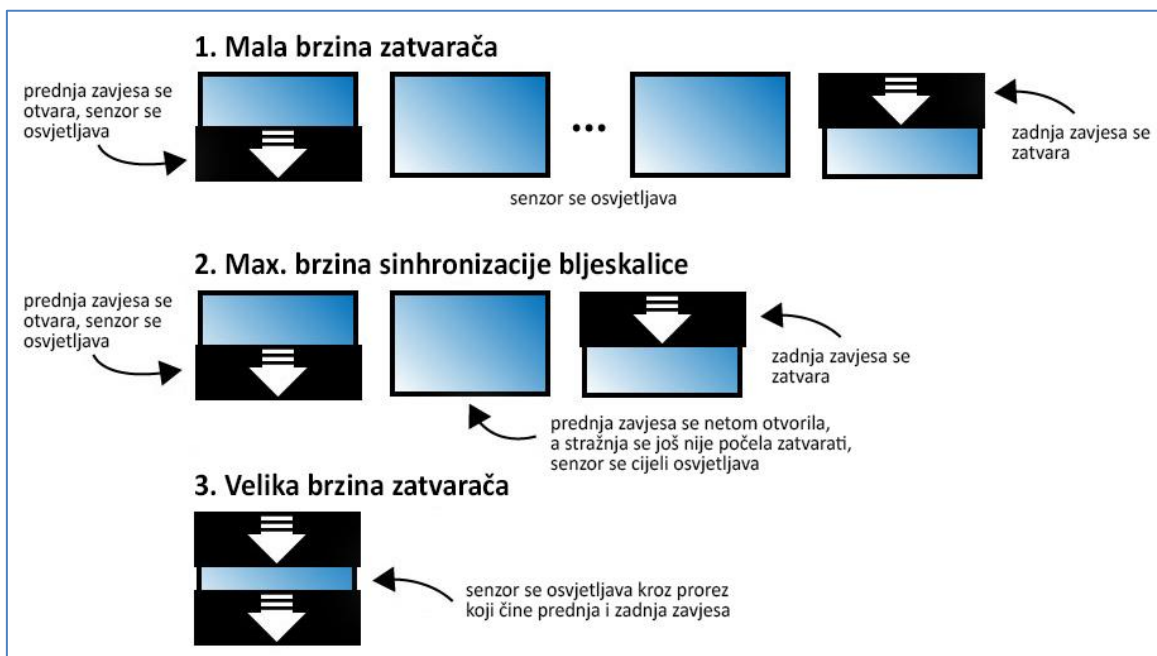
Slika Utjecaj otvor zaslona (slika na vrhu), žarišne duljine objektiv (slika u sredini) i udaljenosti od objekta snimanja (slika na dnu) na polje dubinske oštine

3.2.3. Podešavanje brzine zatvarača

Uloga zatvarača u fotoaparatu je da u određenom vremenskom periodu propusti svjetlo koje će eksponirati senzor. Nalazi se neposredno ispred senzora. Zatvarač se otvara samo u trenutku fotografiranja, pritiskom okidača na fotoaparatu. Sve ostalo vrijeme senzor je zaštićen od svjetla. Postoje razni tipovi zatvarača, kao što je **centralni zatvarač** (*leaf shutter*) koji se koristi kod fotoaparata velikog formata i nalazi se u objektivu, ili **elektronički zatvarač** u jeftinijim modelima digitalnih fotoaparata, dok se kod većine digitalnih SLR fotoaparata danas koristi tkz. **zavjesni zatvarač** (*focal plane shutter*). To je mehanički zatvarač sa pokretnim dijelovima – „zavjesama“, koje se izrađuju od metala, uglavnom aluminijskih legura.



Slika Zavjesni zatvarač za vrijeme eksponiranja (zrcalo je podignuto)



Slika Princip rada zavjesnog zatvarača

Prilikom eksponiranja zavjese se otvore tvoreći prorez odgovarajuće širine, ovisno o duljini ekspozicije tj. brzini zatvarača. Taj se prorez kreće vodoravno (ili okomito) ispred senzora i tako propušta svjetlo. Količina svjetla koja na taj način prolazi do senzora

kontrolira se veličinom proreza i brzinom kretanja zavjesa. Pri malim brzinama zatvarača prednja zavjesa se najčešće do kraja otvori, prije nego se zadnja zavjesa počne spuštati. Kod velikih brzina zatvarača, zadnja zavjesa će se početi zatvarati čim se prednja počne otvarati. Takva konstrukcija omogućuje vrlo kratka vremena osvjetljavanja (i do 1/8000 sekunde).

Brzina zatvarača određuje vrijeme osvjetljavanja senzora. U praksi se kaže da brzinom zatvarača određujemo duljinu ekspozicije. Mjerna jedinica za brzinu zatvarača je sekunda. Najčešće se koriste brzine zatvarača koje su kraće od stotog dijela sekunde (stotinke sekunde, npr. 1/125s). Osnovne vrijednosti brzine zatvarača su:

B, 30", 15", 8", 4", 2", 1", 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000

Male brzine
zatvarača



Velike brzine
zatvarača

Isto kao i kod osnovnih vrijednosti otvora zaslona, promjena vrijednosti za jedan korak udvostručuje, odnosno smanjuje za polovinu, količinu svjetla koje dolazi na senzor. Dakle, ako povećamo brzinu zatvarača sa npr. 1/30 na 1/60, to znači da će dvostruko manje svjetla doći na senzor. Ako smanjimo brzinu zatvarača sa npr. 1/500 na 1/125, na senzor će pasti četiri puta više svjetla. Osim ovih navedenih osnovnih vrijednosti brzina zatvarača, na većini fotoaparata mogu se namjestiti i međubrzi u trećinskim koracima.

Kod većine fotoaparata, najdulje vrijeme ekspozicije je 30 sekundi. To je dovoljno za gotovo sve slabo osvijetljene scene, no ponekad postoje i situacije kod kojih je potrebno vrijeme ekspozicije koje je dulje od 30 sekundi. Tada se koristi postavka na fotoaparatu sa oznakom **B** (eng. *bulb*), koja omogućava ručno podešavanje brzine zatvarača za prošireni raspon vremena. Pri toj postavki zatvarač je otvoren dokle god je stisnut okidač (ili se okine jednom za otvaranje zatvarača i jednom na kraju za zatvaranje zatvarača).

Koju ćemo brzinu zatvarača odabrati ovisi o motivu kojeg snimamo i našoj viziji kako zabilježiti kretanje. Postoje dvije osnovne opcije: „zamrznuti“ kretanje ili ga namjerno zamutiti radi osjećaja brzine. Brzina zatvarača potrebna da zamrzne kretanje, ovisi o brzini kretanja objekta kojeg snimamo, njegovom smjeru kretanja i udaljenosti od fotoaparata i žarišnoj duljini objektiva. Ponekad možemo dojam brzine ostvariti namjernim pomicanjem fotoaparata – praćenjem motiva u pokretu (eng. *panning*) uz korištenje manjih brzina zatvarača. Ovom tehnikom mogu se dobiti vrlo efektne fotografije, no potrebno je dosta eksperimentiranja da se odredi potrebna brzina praćenja motiva. Najčešće se brzina praćenja podudara sa brzinom kretanja motiva. Tako dobivamo oštar motiv i zamućenu pozadinu.

Ako se snima sa manjim brzinama zatvarača, mora se koristiti **stativ** kako bi se izbjegle neoštrine radi trešnje fotoaparata. Što je fotoaparat (sa objektivom) veći i teži, a snima se bez stativa, odnosno „iz ruke“, moraju se koristiti veće brzine zatvarača. Pravilo kod snimanje iz ruke sa SLR fotoaparatom (sa senzorom punog formata) je da se kao minimalna vrijednost brzine zatvarača uzima se recipročna vrijednost žarišne duljine objektiva. Kad se koristi 50mm objektiv, brzina zatvarača trebala bi biti barem 1/60 da se dobije oštra fotografija. Kod korištenja teleobjektiva, da bi se izbjegla trešnja

fotoaparata, brzine trebaju biti znatno brže, npr. za objektiv od 200mm žarišne duljine, potrebna brzina zatvarača je najmanje 1/250. Na sljedećim primjerima prikazane su neke prosječne brzine zatvarača za „zamrzavanje“ pojedinih motiva u pokretu.



Ljudi hodaju (1/125 - 1/250s)



Djeca trče (1/250 - 1/500s)



Bicikl (1/400 - 1/500)



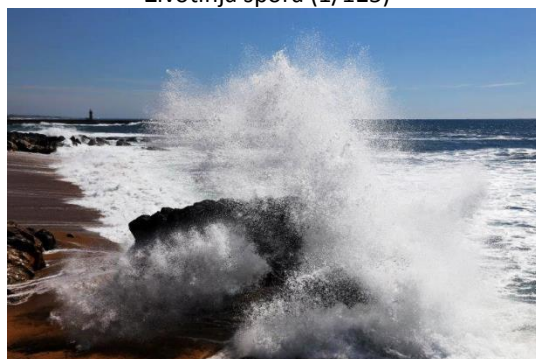
Promet spori (1/500)



Životinja spora (1/125)



Životinja brza (1/800)



Kapljice vode (1/500 - 1/800)



Trkači automobil (1/1000 - 1/4000)

Slika Primjeri brzina zatvarača potrebnih za zamrzavanje pokreta

Brzina zatvarača nije odlučujući faktor samo kod snimanja motiva u pokretu, nego i kod snimanja u slabim svjetlosnim uvjetima, npr. kod noćne fotografije. U takvim situacijama, kad se koriste jako dugačke ekspozicije, potrebno je koristiti stativ, niže ISO vrijednosti (radi izbjegavanja šuma) i manje otvore zaslona (da se poveća dubinska oštrina).



ISO 100, f/4.5, 1.3s



ISO 100, f/10, 8s



ISO 100, f/14, 26s



ISO 100, f/5.6, 1.3s

Slika Primjeri motiva snimljenih malim brzinama zatvarača

U slučajevima kad se snimaju pokretni motivi u slabim svjetlosnim uvjetima, a kad upotreba bljeskalice nije prikladna radi narušavanja autentične atmosfere, često se mora napraviti kompromis, jer se radi korištenja većih brzina zatvarača, mora povećati ISO vrijednost. Tipične takve situacije su kod snimanja koncerata, predstava, sportskih natjecanja u zatvorenim dvoranama, noćni prizori sa ljudima u pokretu, i sl.



ISO 4000, f/5.6, 1/30s



ISO 1000, f/5, 1/15s

Slika Primjer motiva snimljenih sa velikim ISO vrijednostima

3.2.4. Dodavanje svjetla – *fill in* bljeskalica

Kako je objašnjeno na prethodnim stranicama, ekspoziciju je moguće kontrolirati regulacijom tri osnovna parametra: otvorom zaslona, ISO vrijednošću i brzinom zatvarača. No, ponekad to nije dovoljno da se snimi fotografija kakvu smo zamislili. U nekim situacijama, npr. kod snimanja pri lošim svjetlosnim uvjetima, kad želimo dobiti veliku dubinsku oštrinu i zamrznuti pokret, moramo smanjiti otvor zaslona i povećati brzinu zatvarača. Takvim postavkama značajno će se smanjiti količina svjetla koja dolazi do senzora, pa je potrebno povećati njegovu ISO osjetljivost, čime se pak reducira tehnička kvaliteta fotografije. Ako nam velika količina šuma na slici predstavlja neprihvatljiv kompromis, onda postoji i drugo rješenje. To rješenje podrazumijeva korištenje dodatnog svjetla u sceni. Najjednostavniji način za to je korištenje bljeskalice, bilo one ugrađene u fotoaparatus ili pričvršćivanjem vanjske bljeskalice (kod profesionalnih modela SLR fotoaparatusa).

No, bljeskalica nije korisna samo u situacijama slabog svjetla. I pri zadovoljavajućem ambijentalnom svjetlu, ona se može koristiti kao **dopunjujuće svjetlo** (eng. *fill in flash*) za osvijetljavanje tamnih dijelova motiva, npr. kad je osoba ili objekt koji snimamo u sjeni ili je u protusvjetlu (ispred izvora svjetla ili vrlo svijetle pozadine). Dopunjujućim bljeskom moguće je smanjiti kontrast i naglašene sjene od jakog sunčevog svjetla, dok se kod oblačnog dana, može koristiti za postizanje življih boja bliskih objekata ili osoba koje snimamo. Opcijom **kompensacije jačine bljeska**, koju posjeduje većina fotoaparatusa, moguće je prilagoditi izlaznu snagu bljeska određenoj situaciji i motivu kojeg snimamo. Bitno je da umjetno osvijetljenje ne nadvlada postojeće (ambijentalno) svjetlo, da kao rezultat ne bi dobili suviše plošan i prejako osvijetljen motiv.