

Različiti pristupi infracrvenoj fotografiji

Čikara, Doris

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:967718>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Doris Čikara

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD
RAZLIČITI PRISTUPI INFRACRVENOJ
FOTOGRAFIJI

Mentor:
dr.sc. Miroslav Mikota

Student:
Doris Čikara

Zagreb, 2015. godina

Sažetak

U ovom završnom radu obrađeni su različiti pristupi infracrvenoj fotografiji s osvrtom na njenu povijest i razvoj. Pojašnjeno je funkcioniranje klasičnih fotografskih aparata koji za snimanje infracrvene fotografije koriste posebne filmove osjetljive na infracrveno zračenje te pojava digitalnih infracrvenih fotoaparata, kojima se primjenom senzora s bezbrojnim fotosenzibilnim diodama omogućeno snimanje infracrvenih fotografija.

Nastavno su navedene osnovne tehničke pretpostavke i parametri koji omogućuju snimanje digitalne infracrvene fotografije, uključujući infracrvene filtre, standarde koji definiraju osjetljivost fotografskih medija, te tehnike i parametre snimanja.

Danas infracrvena fotografija ima svoju široku primjenu na svim bitnim područjima ljudskog djelovanja, a sve se više afirmira kao umjetnička i primijenjena fotografija.

Ključne riječi:

- infracrvena zračenja
- infracrvena fotografija
- klasična infracrvena fotografija
- digitalna infracrvena fotografija
- filtri

Key words:

- infrared radiation
- infrared photography
- classic infrared photography
- digital infrared photography
- filters

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Izbor teme za završni rad	1
1.2. Cilj i zadaci završnog rada	2
2. INFRACRVENA FOTOGRAFIJA	3
2.1. Infracrvena svjetlost	3
2.2. Povijest infracrvene fotografije	5
2.3. Klasična infracrvena fotografija	8
2.3.1. Crno - bijela infracrvena fotografija	8
2.3.2. Infracrvena kolor fotografija	10
2.4. Digitalna infracrvena fotografija	12
2.4.1. Elektronički senzori u digitalnom fotoaparatu	14
2.4.2. Infracrveni filtri	18
2.5. Definiranje parametara kod snimanja infracrvene slike	22
2.5.1. Osjetljivost	22
2.5.2. Podešavanje bijelog balansa	25
2.5.3. Ekspozicija i izoštravanje (fokusiranje)	27
3. PRIMJENA INFRACRVE NE FOTOGRAFIJE	30
3.1. Infracrvena fotografija u medicini	30
3.2. Infracrvena fotografija u vojne svrhe	30
3.3. Infracrvena fotografija u kriminalistici	31
3.4. Infracrvena fotografija u astronomiji	31
3.5. Infracrvena fotografija u geologiji	32
3.6. Infracrvena fotografija u meteorologiji i klimatologiji	33
3.7. Infracrvena fotografija u povijesti umjetnosti	34
4. ZAKLJUČAK	35
5. LITERATURA	36

1. UVOD

1.1. Izbor teme za završni rad

Infracrveno zračenje je pojava izvan vidljivog spektra svjetla. Riječ je o elektromagnetskom, a ne vizualnom zračenju valnih duljina od 700 nm do oko 1mm.

Postoje, međutim posebni filmovi i drugi optički mediji koji su senzibilizirani na to zračenje te se ono njima može dokumentirati, odnosno fotografski registrirati pri čemu nastaju infracrvene fotografije.

Infracrvena fotografija prisutna je već više od 100 godina te se prvotno koristila za vojne i znanstvene namjene. Iako je fotografe pri tom oduševljavala neobičnost takvih snimljenih fotografija, u razdoblju analogne ili klasične fotografije ovaj vid snimanja nikada nije stekao veliku popularnost. U današnje vrijeme digitalne tehnologije ponovno se pojavilo i zanimanje za tu vrstu fotografije te se uz nju danas, osim pojma neobičnosti vežu i pojmovi tehničkog umijeća i estetskih kriterija stvaralaštva i fotografskog izričaja.

Infracrvena fotografija je ona koja, umjesto oku vidljivog spektra svjetla, bilježi onaj dio iznad vidljivog dijela i taj dio spektra se naziva infracrvenim. Iako se valna duljina infracrvene svjetlosti prostire od 750 nm pa sve do 1000 μm područje interesa je najčešće zapravo raspon od 750 pa 900 nm, koju infracrveni filmovi i senzori mogu zabilježiti.

Infracrvena fotografija otvara novu vizualnu dimenziju za fotografe, jedan sasvim drugačiji pogled na svijet oko nas, pogled koji dopire do spektra daleko šireg nego što ga možemo vidjeti golim okom.

1.2. Cilj i zadaci završnog rada

Cilj završnog rada je predstaviti metode dobivanja infracrvene fotografije.

Postoji nekoliko vidova infracrvene fotografije: klasične crno-bijele, klasične infracrvene kolor fotografije i digitalne infracrvene fotografije. Ovo podrazumijeva različite pristupe snimanju klasičnim odnosno digitalnim fotografskim aparatom te različite tehnike rada u fotografskom laboratoriju.

Iako se u početku infracrvena fotografija koristila u znanstvene svrhe, najčešće u astronomiji i geografiji, danas je njena primjena veoma rasprostranjena te je stekla svoje mjesto kako u umjetničkoj i primijenjenoj fotografiji tako i na različitim područjima znanosti i praktične djelatnosti ističući se pri tome svojom posebnošću i sposobnošću da otkrije, zabilježi i sačuva dodatne informacije skrivene i nevidljive ljudskom oku.

U ovom završnom radu su navedeni aspekti infracrvene fotografije te su isti predstavljeni i analizirani.

2. INFRACRVENA FOTOGRAFIJA

2.1. Infracrvena svjetlost

Infracrvena fotografija koristi filmove ili druga optička sredstva osjetljiva na infracrvenu svjetlost, odnosno infracrveno zračenje.

Svako zračenje može se karakterizirati kao valna duljina i u tom smislu ni svjetlost nije izuzetak. Ono što smatrano „svjetlošću“ je u stvari vidljiva svjetlost, odnosno dio elektromagnetskog zračenja koje možemo vidjeti našim osjetilom vida, uključujući naše oko i dio mozga odgovornog za vid. Pri tome vidimo različite boje, počevši od ljubičaste, plave, zelene, zatim žute, narančaste do crvene i izrazito crvene.

Tehnički rečeno, infracrvena svjetlost je prije zračenje nego svjetlost, međutim termin „infracrvena svjetlost“ opće je prihvaćeni termin, pogotovo kada govorimo o infracrvenoj fotografiji.

Naime, u stvaranju fotografije koristimo najčešće vidljivu svjetlost, bilo da se radi o filmu ili digitalnom optičkom sredstvu. Ono što ljudsko oko vidi kao boju su zapravo različite valne duljine vidljive svjetlosti.

Valne duljine vidljivog dijela spektra mjere se u nanometrima i kreću se u rasponu od 400 nm do 700 nm. Iznad, odnosno ispod navedenih raspona nalaze se zračenja ultraljubičasto, odnosno infracrveno zračenje, koje golim okom ne možemo vidjeti, ali ih tijelo na određeni način može osjetiti [1].

Valne duljine iznad 700 nm označavaju početak infracrvenog spektra koje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama koje su veće od valne duljine vidljive crvene svjetlosti, a manje od valne duljine radiovalova, odnosno raspon od približno 700 nm do 3 mm, ili od $4,5 \times 10^{14}$ do 10^{12} Hz. Energija koju prenose kreće se u rasponu od 4,7 do 0,01 eV [2].

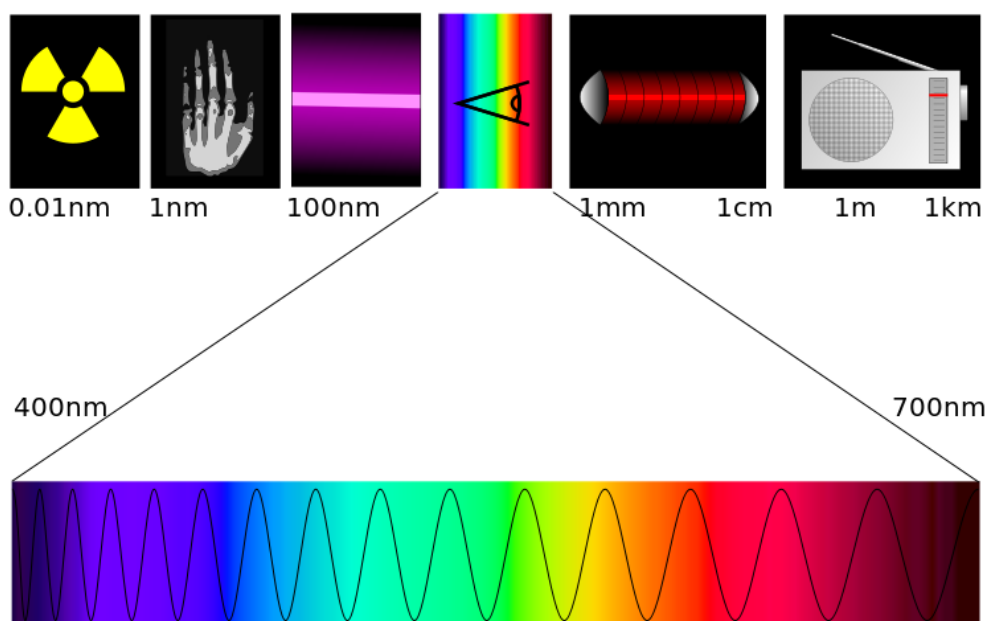
Međutim, iako nevidljiva našem oku infracrvena svjetlost posjeduje neke slične karakteristike kao i vidljiva svjetlost: ona se može fokusirati i reflektirati te se kao i vidljiva svjetlost može polarizirati.

Obzirom da infracrveno zračenje obuhvaća širok raspon elektromagnetskog zračenja postoje razne podjele koje detaljnije određuju pojedina područja (slika 1.).

Najčešća podjela infracrvenog zračenja je na 5 osnovnih područja [3]:

- Blisko infracrveno područje: (0,7 μm – 1,4 μm)

- Kratkovalno infracrveno područje: (1,4 μm – 3 μm)
- Srednjevalno infracrveno područje: (3 μm – 8 μm)
- Dugovalno infracrveno područje: (8 μm – 15 μm)
- Daleko infracrveno područje: (15 μm – 1000 μm)



Slika 1.– Elektromagnetski spektar

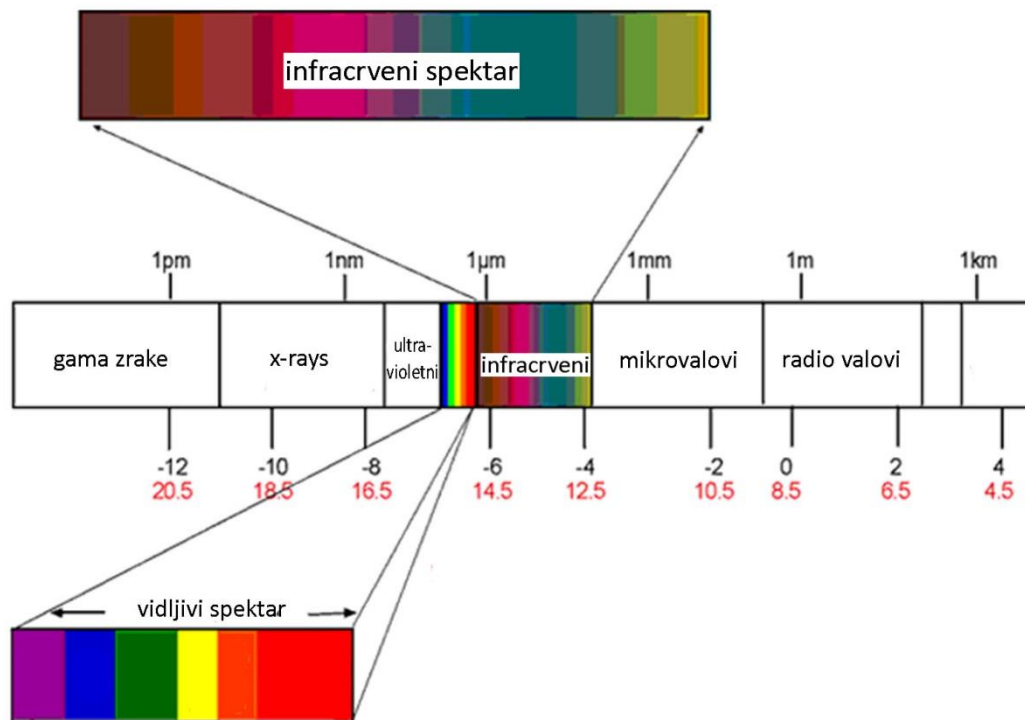
Izvor: http://kqcbeauty.com/kqc/wp-content/uploads/2010/08/infrared_spectrum.jpg

Za stvaranje infracrvene fotografije ne koristimo cijeli spektar infracrvene svjetlosti, već se krećemo u rasponu valnih duljina od između 700 i 1000 nm, odnosno bliže vidljivoj crvenoj svjetlosti, koristeći tzv. manje valne duljine vidljive crvene svjetlosti unutar koji funkcioniraju moderni infracrveni digitalni fotografski aparati.

Pojava infracrvene fotografije otvorila je jednu sasvim novu dimenziju za fotografe, bilo da se radi o rekreativnim fotografima ili profesionalcima te im omogućavajući jedan novi način gledanja i prikazivanja svijeta.

Kako je već rečeno, spektar svjetlosti daleko je širi od onoga kojeg ljudsko oko može uhvatiti. Međutim zahvaljujući posebnim filmovima i ostalim optičkim sredstvima osjetljivim na infracrveno zračenje, odnosno infracrvenu svjetlost moguće je stvarati infracrvene fotografije.

Iako se kad se govori o infracrvenoj fotografiji fokus stavlja na fotografije pejzaža, njihova primjena je daleko šira; od kriminalistike i forenzike, prikaza mikrosvijeta do fotografija svemira.



Slika 2. – Valne duljine infracrvenog zračenja

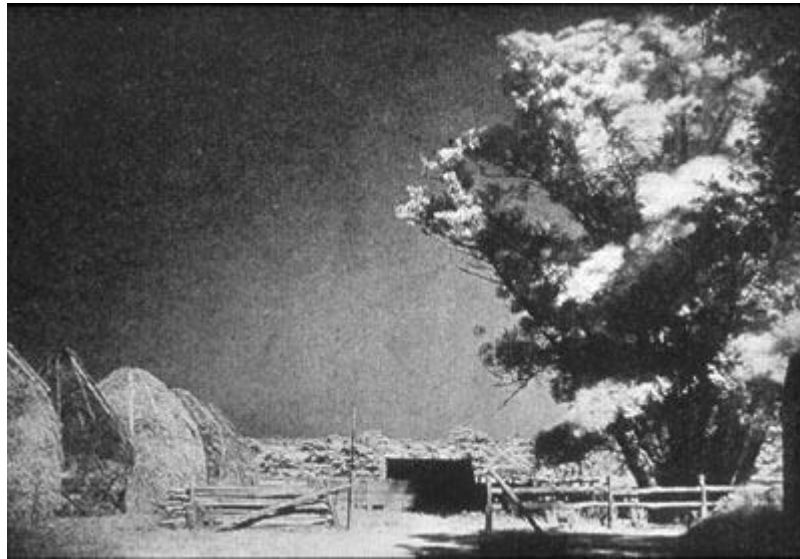
Izvor: <https://www.com.ag-ir.com%2Finfraredphysics.html>

Jedna od značajnih osobitosti infracrvene fotografije je mogućnost prodiranja kroz svjetlosnu sumaglicu. Naime, upravo zbog činjenice da infracrveno zračenje ima veće valne duljine nego vidljiva svjetlost, može lakše prodrijeti kroz sumaglicu. To, nažalost, postaje sve važnije kako se povećava razina onečišćenja bilo plinovima bilo da se radi o svjetlosnom onečišćenju ili drugim vidovima onečišćenja okoliša [4].

2.2. Povijest infracrvene fotografije

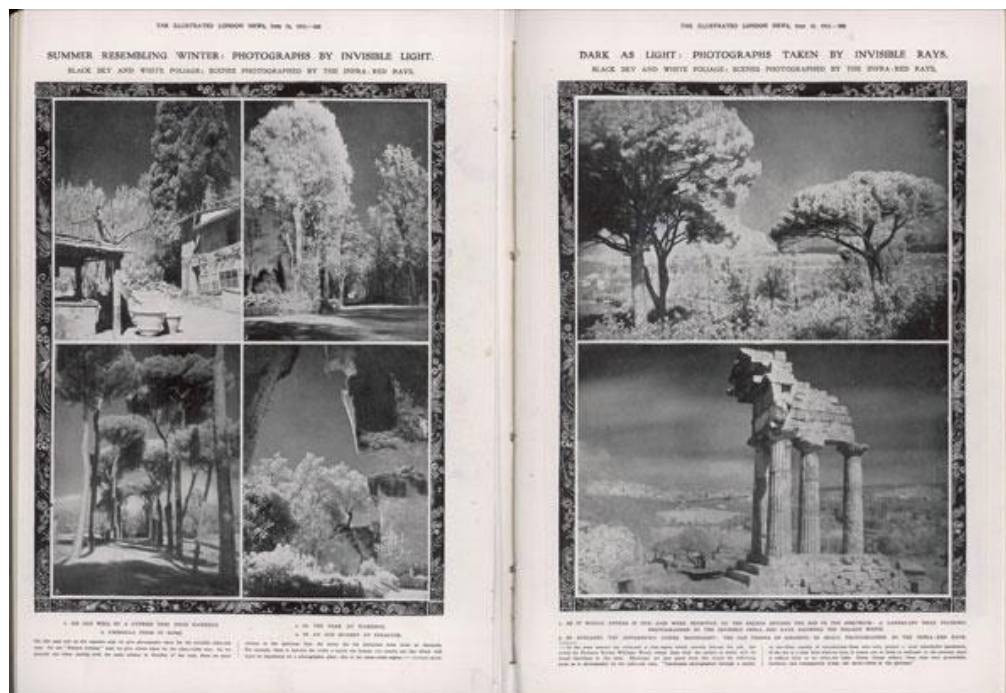
Prva infracrvena fotografija objavljena je u veljači 1910. godine u *The Century Magazine*. Kasnije u listopadu iste godine Robert. W. Wood objavljuje infracrvene fotografije pejzaža u časopisu *Royal Photographic Society Journal* koristeći eksperimentalni film, dodajući bojila srebrnim halidima, tj. fotoosjetljivoj emulziji (slika 3.). Na taj način je uspio zabilježiti infracrvenu svjetlost i stvoriti neobične efekte

pa se i danas infracrvene fotografije često nazivaju fotografije s *Woodovim efektom* [5] (slika 4.).



Slika 3. - Prva infracrvena fotografija pejzaža R. W. Wooda

Izvor: <http://web.archive.org/web/20061112155531/http://msp.rmit.edu.au/Article>



Slika 4. - Infracrvene fotografije R.W. Wooda objavljene 1911. u Illustrated London News

Izvor: <http://www.bbc.co.uk/staticarchive/d742670d03742021c65a62ddab0b2438af082190.jpg>



Slika 5. - Prva infracrvena fotografija ljudskog lica A. Clarka, objavljena 1934. god. u

Journal of the Biological Photographic Association

Izvor: http://benbeck.co.uk/firsts/media/clark_ir_face.jpg

Kodak je 1930. godine započeo s proizvodnjom infracrvenih filmova korištenih u astronomiji. U razdoblju 1930. – 1937. godine infracrvena fotografija je postala dostupna fotografskim entuzijastima nakon što su prvo Ilford, pa poslije Agfa i Kodak počeli proizvoditi infracrvene filmove, čak i za potrebe snimanja igranih filmova.

Tzv. lažni infracrveni film u boji kojeg je lansirano 1942. Kodak pod nazivom *Ektachrome Infrared Aero Film* i *Ektachrome Infrared* postaje veoma korišteni film te dostupan u 35 mm formatu za snimanje infracrvene fotografije.

Infracrvena fotografija postala je posebno korištena 60.-tih godina 20. –tog stoljeća za izradu naslovnica albuma tada popularnih glazbenika zbog svojih specifičnih efekata, neočekivanih boja i psihodelične estetike, promovirane u kasnim 60.-tim od strane Jimi Hendrixa, Donovana, Franka Zappae and the Grateful Deada [6].

Mnogi fotografi poput Elia Ciola i Martina Reevesa koristili su suptilne crno – bijele filmove osjetljive na infracrvenu svjetlost. S razvojem digitalne infracrvene fotografije, ova je tehnika postala veoma popularna i cijenjena te su se takvi fotografski radovi često prodavali u umjetničkim galerijama diljem svijeta.

2.3. Klasična infracrvena fotografija

Snimanje klasičnih infracrvenih fotografija omogućila je proizvodnja adekvatnih filmova za infracrvenu fotografiju, bilo da se radi o crno – bijeloj infracrvenoj fotografiji ili infracrvenoj kolor fotografiji.

Međutim, film za infracrvenu fotografiju je izuzetno osjetljiv na valne duljine vidljive svjetlosti. Stoga je za snimanje klasičnih infracrvenih fotografija potrebna posebna oprema u vidu filtra koji se stavlja ispred objektiva fotografskog aparata, a koji blokira vidljivu svjetlost i dopušta prolaz valnim duljima infracrvenog spektra [7].

2.3.1. Crno - bijela infracrvena fotografija

Crno –bijeli filmovi za infracrvene fotografije osjetljivi su na manjih valne duljine infracrvene svjetlosti u rasponu od 700 do 900 nm i većina je također osjetljiva na valne duljine plave svjetlosti.

Osobiti efekt sumaglice ili odbljeska često viđen na osvijetljenim dijelovima infracrvenih fotografija učinak je koji je posljedica dugo vremena korištenog *Kodakovog High Speed Infrared (HIE)* filma [8] te nije posljedica same infracrvene svjetlosti, a uzrokuje ga nedostatak odgovarajućeg sloja na stražnjoj strani Kodakov HIE filma (slika 7).



Slika 6. - Kuća F.L.Wrighta snimljena pankromatskom i infracrvenom fotografijom

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_photography

Većina crno – bijelih infracrvenih fotografija umjetničkih djela, pejzaža ili fotografije vjenčanja napravljene su koristeći narančaste, crvene ili neprozirne filtre preko leće kako bi se blokirala vidljiva plava svjetlost prilikom ekspozicije. Dakle, namjena filtra

kod crno – bijele infracrvene fotografije je spriječiti prolaz valnoj duljini plave svjetlosti i omogućiti prolaz infracrvene svjetlosti [9].

Bez filtra, negativni infracrvenih filmova izgledaju u velikoj mjeri poput negativa klasičnih filmova jer plava svjetlost smanjuje kontrast i značajno sprječava infracrveni izgled filma [10].



Slika 7. - Infracrvena fotografija snimljena Kodakovim *HIE High Speed Infrared* filmom

Izvor: <http://designermag.org/wp-content/uploads/2013/02/kodak-infrared-high-speed-photography.jpg>

Neki fotografi koriste narančasti ili crveni filtar kako bi omogućili neznatan ulazak valnih duljina plave svjetlosti te tako obogatili film što opet smanjuje kontrast. Intenzivno tamno - crveni filtri blokiraju skoro svu plavu svjetlost, dok neprozirni filtri blokiraju ne samo plavu svjetlost nego i valne duljine crvene svjetlosti. To ima za rezultat čistu infracrvenu fotografiju s jače izraženim kontrastom.

Spomenuti Kodakov HIE film je osjetljiv za valne duljine preko 900 nm te na ulazak vidljivog svjetla pa se umetanje i vađenja filma kao i njegova obrada morala raditi u potpunom mraku. Sam film, izrađen od poliesterske osnove bio je veoma podložan ogrebotinama te je zahtijevao posebnu pažnju pri rukovanju u postupku razvijanja i izrade fotografija kako bi se izbjegla njegova oštećenja. Zbog smanjenja potražnje za ovim proizvodom Kodak ga je preostao proizvoditi u studenom 2007. godine.

Najveća zapreka za razvoj infracrvene fotografije bile su sve prisutnije poteškoće oko nabave filmova osjetljivih na infracrvenu svjetlost. Međutim, usprkos činjenici da je Kodak prestao proizvoditi navedeni film, postoje drugi proizvođači filmova za infracrvene fotografije različite osjetljivosti i karakteristika.

Tako, na pr. Efke proizvodi *Efke IR820C*, osjetljivosti do 820 nm uz koji se mora koristiti crveni filtar za postizanje poznatog *Woodowog* infracrvenog efekta (slika 8.) [11].



Slika 8. - Infracrvena fotografija snimljena *Efke IR820* filmom

Izvor: [http://1.bp.blogspot.com/-SzgL6snN1j4/](http://1.bp.blogspot.com/-SzgL6snN1j4/UX1KfZkLYUI/AGY/_f_5gsVMmrM/s1600/sm001_s.jpg)

[UX1KfZkLYUI/AGY/_f_5gsVMmrM/s1600/sm001_s.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-SzgL6snN1j4/UX1KfZkLYUI/AGY/_f_5gsVMmrM/s1600/sm001_s.jpg)

Proizvođač Rollei osigurava na tržištu *Rollei IR820* osjetljivosti do 670 nm, dok Ilford osigurava lažni infracrveni film najmanje osjetljivosti na infracrvenu svjetlost.

2.3.2. Infracrvena kolor fotografija

Infracrvena kolor fotografija koristi transparentne filmove u boji koji imaju tri sloja koja, zbog načina na koja su boje ukomponirane, reproduciraju infracrvenu svjetlost kao

crvenu, crvenu kao zelenu, a zelenu kao plavu svjetlost, pomičući valnu duljinu prema manjima.

Svi ovi slojevi filma su osjetljivi na valne duljine plave svjetlosti pa se mora koristiti žuti filter obzirom da isti blokira plavu svjetlost ali dozvoljava ostalim bojama kako bi se omogućilo dobivanje zanimljive i bojama bogate fotografije.

Općenito rečeno, infracrveni kolor filmovi manje su osjetljivi od crno – bijelih filmova u odnosu na svjetlost te ih nije nužno umetati u potpunom mraku.

Najrašireniji infracrveni kolor film bio je Kodakov *Ektachrome Professional Infrared/EIR*, međutim Kodak je ipak 2007. godine objavio da prestaje s proizvodnjom 35 mm inačice ovog filma zbog smanjene potražnje te nastavio s proizvodnjom 70 mm Aerographic formata (slika 9.).



Slika 9. - Infracrvena fotografija napravljena Kodakovim *Ektachrome Infrared* filmom
Izvor:<http://cdn1.lomography.com/66/3faf7e76cd9d77d90e17eab3dc946180d63b66/869x576x2.jpg>

Mnogi su fotografi mišljenja da s današnjim digitalnim kamerama nije moguće postići iste rezultate kao s Kodakovim filmom za infracrvenu kolor fotografiju iako je slične efekte moguće proizvesti korištenjem dvostruke ekspozicije, jedne za infracrvenu, a druge za fotografiju u punoj boji, uz primjenu naknadne obrade filma.

Infracrvena fotografija u boji, kao dio ukupnog fotografskog spektra postaje sve popularnija. Lakoća stvaranja i izrade fotografija nježnih boja s ukomponiranim karakteristikama infracrvene fotografije, ovu vrstu fotografije čini sve popularnijom i zanimljivijom kako rekreativnim fotografima tako i profesionalcima.

2.4. Digitalna infracrvena fotografija

Općenito govoreći, dok se za izradu klasičnih fotografija koristi film, kod izrade digitalnih fotografija se film ne koristi već se slika u digitalnom fotografskom aparatu stvara zahvaljujući posebnim elektroničkim sensorima.

Današnji digitalni fotografski aparati imaju široku primjenu zbog lakoće snimanja fotografija, kvalitete i količine fotografija kojemu je ograničenje jedino veličina raspoložive memorijske kartice u fotoaparatu. Nadalje omogućeno je pregledavanje, brisanje i odabir fotografija na licu mjesta te su unaprijeđeni i olakšani postupci naknadne obrade i skladištenja snimljenog materijala.

Ono što je istaknuto kao prednost digitalne fotografije u odnosu na klasičnu kod snimanja konvencionalnih / tipičnih fotografija, vrijedi i kod infracrvenih fotografija. Naime, kao se razvijala i unaprjeđivala digitalna fotografija razvijala se i digitalna infracrvena fotografija. Ona je u odnosu na klasičnu infracrvenu fotografiju omogućila lakše snimanje fotografskog materijala, njegovu obradu, pregled uz trenutačno prilagođavanje potrebnih parametara, olakšala ispis digitalnih infracrvenih fotografija te istakla niz prednosti u odnosu na postupak snimanja analognih infracrvenih fotografija.

Dok je za snimanje i izradu klasične infracrvene fotografije potreban poseban film osjetljiv na infracrveno zračenje stvaranje digitalne infracrvene fotografije omogućeno je izumom i razvojem senzora osjetljivih na infracrvenu svjetlost [12].

Time su otklonjene poteškoće oko čuvanja, umetanja i općenito rukovanja s filmom kako u fazi snimanja infracrvenih fotografija tako i postupku razvijanja filma i izrade snimljenog materijala [13].



Slika 10. - Primjer 1. digitalne infracrvene fotografije
Izvor: [http://fotodanimladih.com.hr/wp-content/gallery/
thumbs/thumbs_4812401337_40a1d9a5c5_b.jpg](http://fotodanimladih.com.hr/wp-content/gallery/thumbs/thumbs_4812401337_40a1d9a5c5_b.jpg)

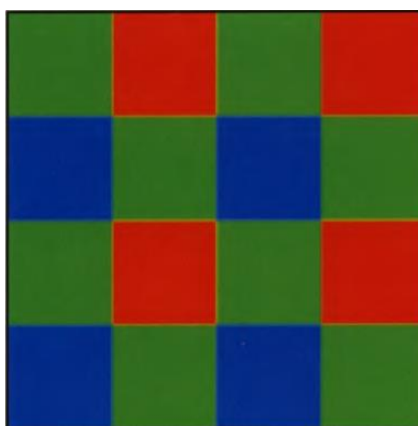


Slika 11. - Primjer 2. digitalne infracrvene fotografije
Izvor: [http://fotodanimladih.com.hr/wp-
content/gallery/infracrveno/thumbs/thumbs_4812401337_40a1d9a5c5_b.jpg](http://fotodanimladih.com.hr/wp-content/gallery/infracrveno/thumbs/thumbs_4812401337_40a1d9a5c5_b.jpg)

2.4.1. Elektronički senzori u digitalnom fotoaparatu

Kako je naprijed rečeno, kod izrade digitalnih fotografija se ne koristi film već se slika u digitalnom fotografskom aparatu stvara zahvaljujući posebnim elektroničkim sensorima. Oni se sastoje od bezbrojnih fotoosjetljivih elemenata koji kod snimanja fotografije bilježe crno – bijeli zapis. Naime, svaki piksel na digitalnoj kameri sadrži fotoosjetljive fotodiode koje pretvaraju svjetlosne u električne signale proporcionalne količini svjetla koja dolazi do senzora. Fotodiode ne prepoznaju razliku između valnih duljina koje određuju boju svjetlosti, dakle ne reagiraju na boju nego samo na intenzitet svjetlosti koja do njih dopire, pretvarajući tako dobivene podatke u fotografiju.

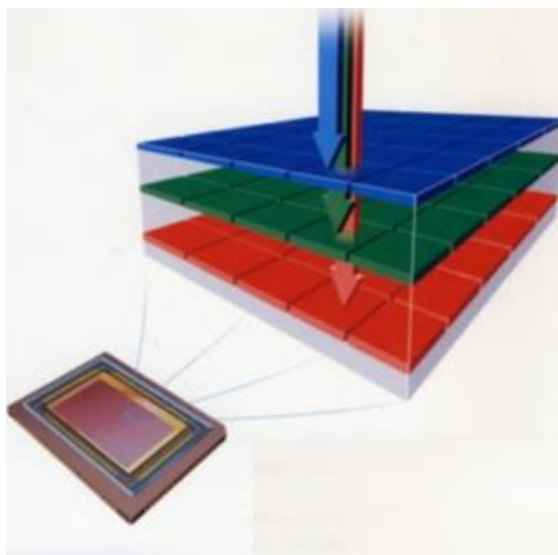
Kako bi se dodala bojama digitalnim snimkama koriste se filtri u boji koji sadrže crvenu, plavu i zelenu boju, a najčešće je u uporabi filter s takozvanim *Bayerovim* uzorkom [14]. On omogućava digitalnoj kameri dodavanje i kreiranje boje na temelju podataka koje dolaze do senzora naizmjenično ih slažući po utvrđenom obrascu i njegovim redovima, prilagođavajući podatke o bojama ljudskom vidu (slika 12).



Slika 12. - Bayerov uzorak

Izvor: Farace, J.: Complete Guide to Digital Infrared Photography, str. 62

Tip *Bayerovog* uzorka *Foveon X3*, kod kojega su fotodiode smještene između silikonskih crvenih, plavih i zelenih slojeva, teoretski vrlo slično primjeni emulzije za film u boji. Silikonski slojevi apsorbiraju različite boje pri različitim dubinama i tako se formira potpuna slika u boji (slika 13.)



Slika 13. - Foveon X3

Izvor: Farace, J.: Complete Guide to Digital Infrared Photography, str. 63.

Senzori u digitalnim fotografskim aparatima su osjetljivi na veoma širok spektar zračenja, uključuju raspon od x- zraka do infracrvenog zračenja, međutim u digitalnim fotografskim aparatima se koriste senzori s rasponom fotoosjetljivosti vidljive svjetlosti valnih duljina od 380 nm do 700 nm.

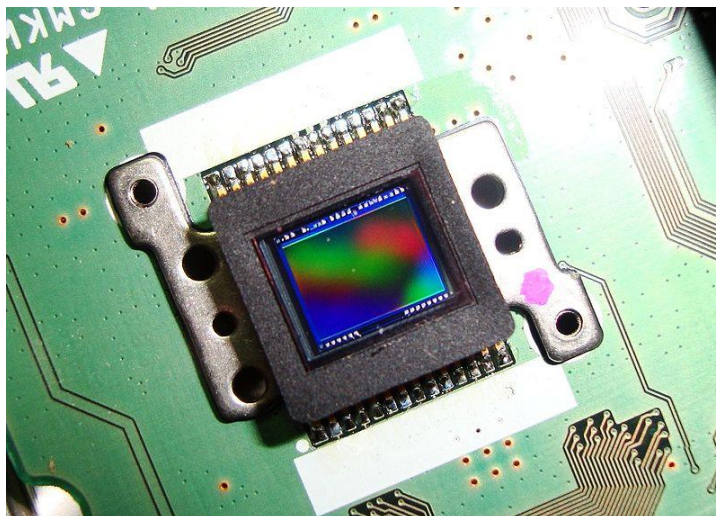
Danas se najčešće koriste dvije vrste senzora u digitalnim fotografskim aparatima: CCD i CMOS senzori na koje se kroz leću fotografskog aparata fokusira svjetlost. CCD i CMOS senzori su osjetljivi na infracrveno zračenje preko 950 nm do 1200 nm, te su pogodni za snimanje infracrvenih fotografija.

CCD senzori (*Charged Coupled Device*) su 1969. godine promovirani od strane Williarda Boyla i Georgea Smitha, a napravljeni su silicijskog čipa osjetljivog na svjetlo (slika 14.). To su uređaji sastavljeni od bezbrojnih fotoosjetljivih dioda koje registriraju intenzitet jakosti svjetla koja do njih dopire i pretvaraju je u električni naboj, upravo proporcionalan jakosti svjetla koje fotodiode bilježe. Tako transformirani naboj se pretvara u piksel, kao dio ukupne slike.

Kako ovaj senzor ne registrira boje, nego samo jakost svjetla koje pada na njega, tako formiranoj slici se putem određenih filtra za boju, po utvrđenom obrascu dodaje crvena, zelena ili plava boja.

Na profesionalnoj razini često se koristi podvrsta ovog senzora tzv. *Super CCD SR II* senzor koji sadrži dvije vrste fotodioda: *S* diode za sjenu i *R* diode za osvjetljene

dijelove fotografije. Veće *S* diode koje reagiraju na slabije svjetlo, bilježe zasjenjene detalje, dok *R* diode bilježe jača osvjetljenja bez da se gube detalji na fotografiji.



Slika 14. - CCD senzor

Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD_sensor.JPG

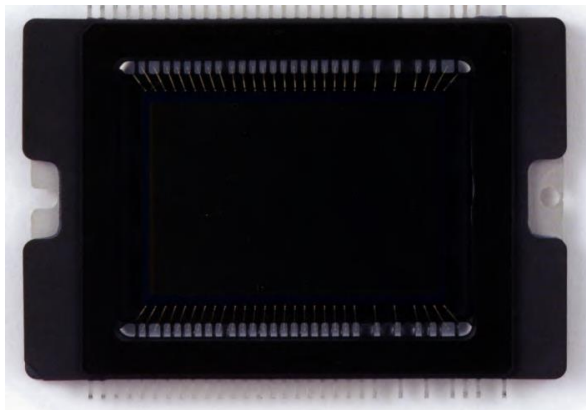
CMOS senzor (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) poput CCD senzora radi na principu milijuna fotoosjetljivih dioda koje svjetlost koja na njih pada pretvaraju u električni impuls čija je snaga proporcionalna količini svjetla (slika 15.).

Razlika između CMOS i CCD senzora je u načinu na koji se taj električni impulsi prikupljaju i obrađuju iz fotodioda. Kod CCD senzora se oni očitavaju serijski, odnosno jedan za drugim te zahtijevaju posebne pojačivače.

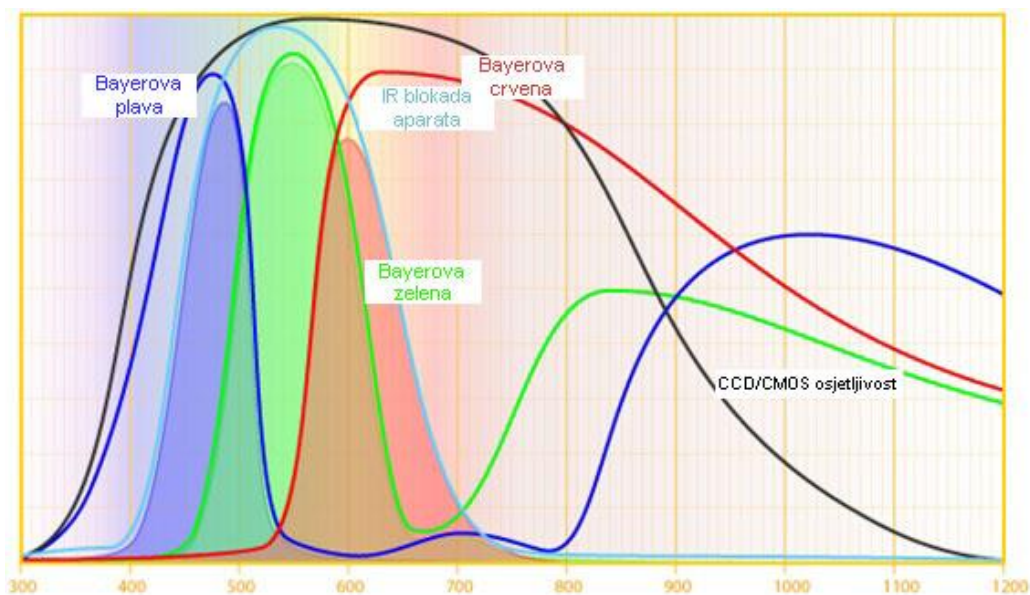
CMOS senzori imaju pojačivač ispod svakog piksela pa se svaka fotoosjetljiva dioda može posebno očitati, pomoću njenog adresiranja po sustavu koordinatne mreže što omogućava da se svi električni impulsi odjednom obrade te na taj način oslobodi senzor za sljedeću ekspoziciju.

Međutim, jedna od zamjerki kvaliteti fotografija kod kojih su korišteni CMOS senzori u odnosu na fotografije kod kojih su korišteni CCD senzori proizlazila je iz manje osjetljivosti CMOS senzora, što je bilo naročito izraženo krajem 90.-godina prošlog stoljeća, zbog potrebe pojačavanja signala što je dovelo do tzv. šumova u fotografiji. Šumovi na fotografiji posljedica su električne aktivnosti svake od milijuna raspoloživih dioda te neaktivnog foto-neosjetljivog prostora između dioda u kojem se ne može registrirati svjetlost. To se nastojalo otkloniti stavljanjem mikroleća iznad senzora koje su zrake svjetlosti usmjeravale na samu diodu, a ne na neaktivni međuprostor čime je povećana ukupna fotoosjetljivost dioda i iskoristivost svjetla koja dolazi do senzora.

U odnosu na CCD senzore CMOS senzori omogućavaju dulje korištenje fotoaparata zbog manje potrošnje energije, a i njihova proizvodnja je jeftinija od proizvodnje CCD senzora, te danas prevladavaju.



Slika 15. - CMOS korišten kod Canonovog uređaja *EOS Digital Rebel XT*
Izvor: Farace, J.: Complete Guide to Digital Infrared Photography, str. 63



Slika 16. - Grafikon fotoosjetljivosti CCD i CMOS senzora
Izvor: http://www.ir-photo.net/image/standard_camera.png

Digitalni senzori u većini digitalnih fotografskih aparata upravo su izuzetno su osjetljivi na infracrvene zrake svjetlosti. Stoga mnogi proizvođači digitalnih fotografskih aparata koji nisu namijenjeni za snimanje infracrvenih fotografija, postavljaju ispred senzora posebni unutarnji filter, tzv. „vruće ogledalo“, odnosno interni filter (*Internal IR Cut Filter*) ispred senzora kako bi onemogućili prodor infracrvenog zračenja, odnosno

zračenja izvan spektra vidljive svjetlosti do senzora u digitalnom fotografskom aparatu, u suprotnom snimljeni materijali gube na svojoj oštirini i kvaliteti [15].

Uklanjanjem navedenog filtra postavljenog ispred senzora digitalnog fotografskog aparata isti se pretvara u digitalni fotografski aparat kojim je moguće snimati infracrvene fotografije [16].

Takva (nestručna) izmjena u fotografskom aparatu može rezultirati neispravnim fotografskim aparatom, pomacima u točki fokusiranja zbog refleksije svjetlosti u filtru, a što sve u konačnici rezultira lošom kvalitetom snimljenih fotografija. Stoga se, umjesto „prilagodbe“ digitalnog fotografskog aparata i njegovog pretvaranja u digitalni fotografski aparat za infracrveno fotografiranje, preporuča uporaba i snimanje preko infracrvenog filtra.

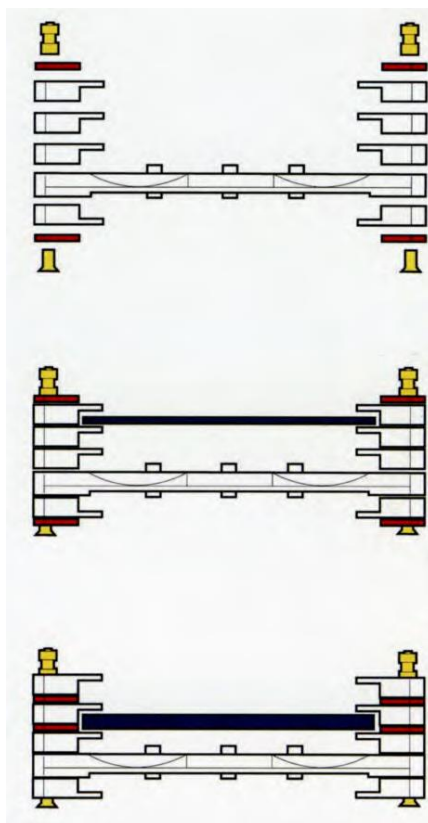
2.4.2. Infracrveni filtri

Za izradu digitalnih fotografija su se u klasičnoj fotografiji koristili specijalni filmovi za tu svrhu, a danas u digitalno doba se koristi infracrveni filter koji zaustavlja vidljivi dio spektra, a propušta infracrveni, odnosno omogućavaju da kroz objektiv na senzor dođe samo infracrveno svjetlo. Što su veće valne duljine svjetlosti, filter je tamniji i manje propušta vidljivog svjetla [17].

Filter se postavlja na prednji dio objektiva prilikom snimanja. Nedostaci kod upotrebe filtra su u tome što se zbog nepropuštanja spektra svjetlosti vidljivog ljudskom oku onemogućava funkcija optičkog tražila, odnosno gledajući kroz objektiv ne vidi se objekt koji se želi snimiti te se onemogućava adekvatno lociranje točke izoštravanja.

Stoga je kod ovakvog načina snimanja infracrvenih fotografija potrebno koristiti stativ koji produljuje vrijeme ekspozicije.

Klasični infracrveni filter je stakleni ili metalni predmet koji se postavlja ispred leće objektiva. Dostupni su u različitim oblicima i veličinama kako bi se mogli montirati na različite objektivne. Kvalitetni filtri rade se od tankih optičkih materijala uokvirenih izdržljivim i trajnim okvirom, a njihova proizvodnja zahtjeva dodatnu preciznost, što u konačnici utječe i na cijenu ovog proizvoda. Danas se postavljaju na jedinstveni modularni način koji je popularizirao *Cokin* uvodeći prilagodljive držače za infracrvene filtre kako bi se izbjeglo nabavljanje različitih veličina filtra za različite veličine objektiva (slika 17.).



Slika 17. - Cokinov držač filtra s mogućnosti umetanja različite debljine filtra

Izvor: Farace, J.: Complete Guide to Digital Infrared Photography, str. 63

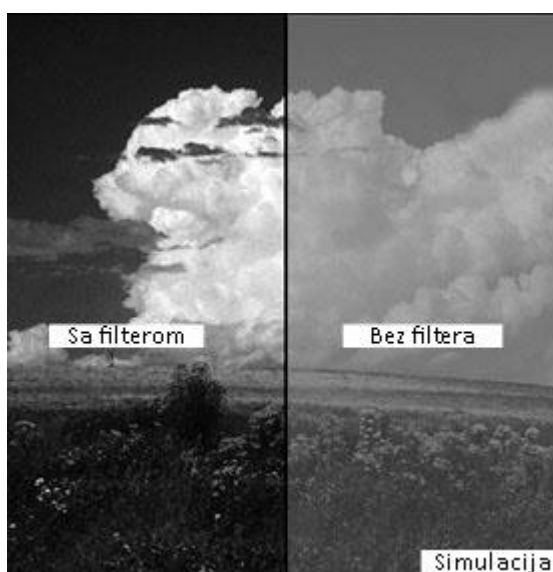
Većina infracrvenih filtra ima numeričke oznake koje je razvio *Frederick Wratten*, jedan od pionira uporabe infracrvenih filtra početkom 20. –tog stoljeća.

On je 1909. godine uspostavio sustav numeriranja infracrvenih filtra, tzv. „*Wratten sustav*“ koji je postao standard za filtre korištene u fotografiji, astronomiji i raznim drugim djelatnostima. Primjera radi *broj 25* označava crveni filter koji propušta vidljivu svjetlost kao i infracrveno zračenje do filma ili senzora, blokirajući valne duljine svjetlosti kraće od 580 nm, što znači da se kroz ovaj crveni filter može lako vidjeti objekt snimanja. Ostali filtri koji blokiraju svu ili skoro svu vidljivu svjetlost, u rasponu od 700 nm pa na niže su mnogo tamniji nego je to Wratten #25, a ovisno o njihovim karakteristikama ovi neprozirni filtri otežavaju ili sasvim onemogućavaju gledanje kroz njih [18].

Infracrveni filtri dijele u dvije skupine; tamnocrveni i crni filtri.

Crveni i tamnocrveni filtri:

- Hoya 25A je crveni filter minimalne valne duljine od 580 nm, posebno efikasan za povećanje učinka kontrasta i uravnoteženih boja te je idealan za snimanje dramatičnih prizora pejzaža s oblacima.
- Wratten #29 (B&W) je tamno crveni filter minimalne valne duljine 600 nm, a osigurava idealne kontraste obzirom da apsorbira zelenu i plavu svjetlost, a pojačava crvenu. Kao crveni filter pojačava također tonove kože pa je idealan za snimanje portreta (slika 18.).



Slika 18. - Pejzaž snimljen sa i bez infracrvenog filtra Wratten #29

Izvor: <http://www.bhphotovideo.com/c/product/503661-REG/>

[Kodak_8935645_4_x_4_Dark.html](http://www.bhphotovideo.com/c/product/503661-REG/Kodak_8935645_4_x_4_Dark.html)

- Wratten #70 je filter minimalne valne duljine 640 nm i zbog svjetlosne jačine omogućava snimanje iz ruke kod nekih digitalnih fotoaparata.
- B&W 092 (89B, RG695, Cokin IR007) je filter koji se pretežito koristi kod klasične infracrvene fotografije jer nije dovoljno dubok za digitalnu fotografiju. Tamnocrvene je boje i koristi se za crno - bijele filmove kod izvora svjetla spektralnog sastava ispod 650 nm, propuštajući manje od 50% zračenja u rasponu između 650 i 700 nm, a više od 90% zračenja u rasponu 730 do 2000 nm.

- Heliopan 30mm *Infrared RG 830 (87C)* filter osjetljivosti je 830 nm, te omogućava snimanje objekata i scena koje nisu vidljive u normalnim uvjetima.

Neprozirni tamni filtri:

- Hoya R70 maksimalna osjetljivost filtra je 700 nm.
- Hoya R72 minimalne osjetljivosti na 700 nm (slika 20.). Najbolji filter za komercijalnu upotrebu i daje najbolje reprodukcije osim kod objekata koji se kreću (slika 21.). Kod digitalnih fotografskih aparata mora se koristiti stativ.
- Hoya R76 maksimalne je osjetljivosti na 760 nm.
- Hoya RM90 je filter osjetljivosti iznad 900 nm.
- Written #88A je filter minimalne valne duljine približno 710 nm
- XNite 715 je filter minimalne valne duljine 715 nm.
- XNite 830 je filter minimalne valne duljine od 770 nm.
- B&W Infrared 093 je filter minimalne valne duljine 800 nm. Ovaj filter se koristi u znanstvenom području za istraživanje materijala i u forenzici. Filter se potpuno nalazi u infracrvenom području i snima prave infracrvene fotografije.



Slika 20. - Hoya R72 Infrared filter

Izvor: <http://www.bhphotovideo.com/images/images2000x2000/>

Hoya_B77RM72_77mm_RM72_Infrared_Glass_122481.jpg



Slika 21. - Primjer infracrvene fotografije snimljene uz primjenu Hoya R72 filtra

Izvor: http://www.wrotniak.net/photo/infrared/_img/5060t-89b-4.x.jpg

2.5. Definiranje parametara kod snimanja infracrvene slike

2.5.1. Osjetljivost

Postoji mnogo sustava koji definiraju osjetljivost fotografskih medija i svaki ima svoje mjerne jedinice i oznake (ISO, DIN, ASA, GOST, EI...).

ISO (*International Standards Organization*) sustav jer je prihvaćen kao standard kod svih proizvođača digitalnih fotoaparata. Osjetljivost je mjera osjetljivosti senzora na svjetlo kojim ga eksponiramo prilikom snimanja fotografije. Vrijednosti ISO idu najčešće od 50 pa sve do recimo 25 600 i dalje. Uobičajene vrijednosti osjetljivosti kod digitalnih fotografskih aparata kreću se su od 50 – 1600, uz napomenu da je ISO 100 dvostruko osjetljiviji od ISO 50, a ISO 200 dvostruko je osjetljiviji od ISO 100.

Kod uspoređivanja osjetljivosti i karakteristika pojedinih fotoaparata česta je pogrešna interpretacija brojki, obzirom da na tržištu postoji mnoštvo modela koji nude visoku osjetljivost. Kod tumačenja tog brojčanog podatka kojim se definira osjetljivost fotografskog medija potrebno je biti oprezan obzirom da se snimljene i ispisane

fotografije veoma razlikuju od modela do modela pa i unutar asortimana jednog proizvođača.

Visoka osjetljivost kod digitalnih fotoaparata može se usporediti s pojačalima snage u zvučnim sustavima. Senzor digitalnog fotoaparata proizvede određeni električni napon koji se u daljnjem procesu obrade filtrira i pojačava. Teoretski bi se mogao pojačavati u nedogled, no pojačavanje signala kojega je proizveo senzor dovodi i do pojačanja signala koji su stigli od dijelova senzora na koje nije uopće ili je palo premalo svjetla, a to su prostori između fotoosjetljivih dioda. U tom slučaju dolaska premale količine svjetlosti na senzor, teže je definirati boju i teksturu i dolazi do pogrešne interpretacije, što rezultira tzv. šumom u fotografiji, odnosno mrljama bez detalja, koji se eventualno mogu otkloniti u daljnjim postupcima obrade fotografije putem posebnih računalnih programa [19].

Što je osjetljivost veći to je ekspozicija manja, odnosno vrijeme eksponiranja kraće. Ako ekspoziciju i otvor blende fiksiramo, podizanjem osjetljivosti vrijednosti dobivaju se fotografije koje su dulje eksponirane – svjetlije.

Skala osjetljivosti slična je skali ekspozicija, odnosno ako se vrijednost poveća za duplo, isto tako će se i ekspozicija smanjiti za duplo – dakle međusobno su proporcionalni.

Većina digitalnih fotoaparata ima postavku automatskog odabira osjetljivosti, što rezultira fotografijama s manje šuma i većim brzinama zatvarača jer se automatski određuje optimalna kvalitete. Automatiku je potrebno isključiti kada se snima višestruko snimanje istog motiva i u situacijama kada želimo potpunu ručnu kontrolu ili eksperimentiranje prema našim postavkama.

Nadalje, postoje mnogi trenuci koje treba zabilježiti u uvjetima slabog osvjetljenja, pogotovo u profesionalnom fotoreporterskom poslu u kojem se svakodnevno prate događaji pri slaboj rasvjeti i u toj domeni je visoka osjetljivost obvezna. Dobra fotografija nije samo artikl za prodaju već je i dokument vremena, pa je poželjno da taj dokument ima što više točnih podataka visoke definicije. Takve rezultate upravo omogućuju suvremeni senzori u suradnji s moćnim procesorima i računalnim programima.

Za postizanje idealne kvalitete infracrvene fotografije trebala bi se kombinirati najviša rezolucija s najnižom osjetljivosti, a što je osjetljivost niža duže je vrijeme ekspozicije. Visoka osjetljivost može dovesti do neželjenih efekata na fotografijama, kao što je već spomenuti je šum na fotografijama. Međutim, obzirom da se radi o infracrvenim

fotografijama na kojima su ponekad poželjni neuobičajeni efekti, isto može izgledati kao zrnati infracrveni film što daje pravi dojam infracrvene fotografije.

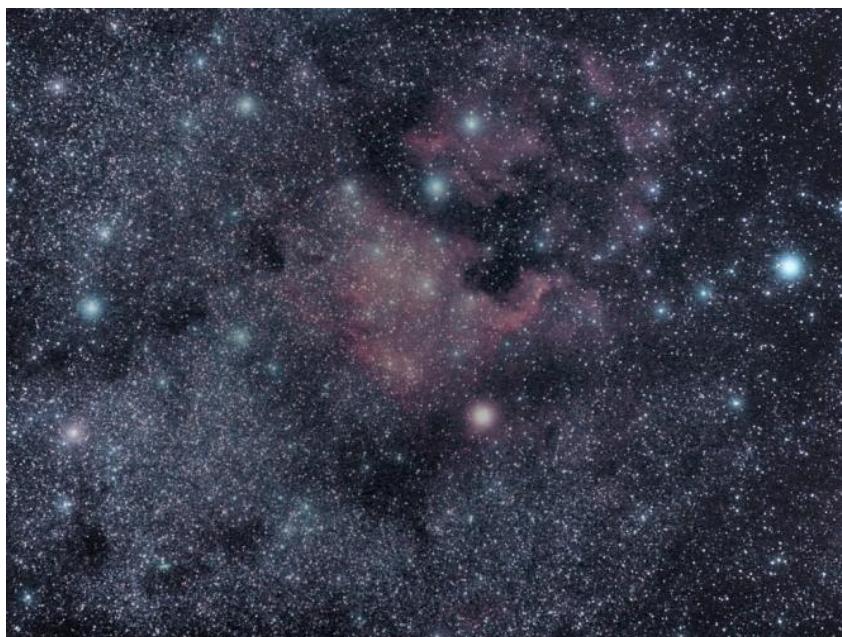
Najveći problem se javlja kod kompaktnih infracrvenih fotoaparata jer imaju manji senzor i najvišu osjetljivost u vrijednosti od 400.

Osjetljivost se kombinira s otvorom zaslona i vremenom ekspozicije, gdje se uzimajući u obzir različite čimbenike nastoji osigurati adekvatan omjer elemenata ekspozicije kako bi konačni rezultat bio kvalitetna infracrvena fotografija.

Dakle, osjetljivost utječe na kvalitetu fotografije i to – obrnuto proporcionalno. Što je osjetljivost veća to je kvaliteta fotografije manja, odnosno šum na fotografiji izraženiji. Duplim povećanjem osjetljivosti teoretski se duplicira količinu šuma na fotografiji. No, sama količina šuma na fotografiji ovisi od modela do modela, od proizvođača do proizvođača. Međutim, općenito rečeno manja osjetljivost znači manje šuma na fotografiji, a to rezultira kvalitetnijom fotografijom.

Uobičajeno je određivanje osjetljivosti na slijedeći način:

- Osjetljivost od 100 do 200 – uz dobre svjetlosne uvjete, po danu, uz dobru kontroliranu rasvjetu, odnosno u situacijama kad se otvorom blende i ekspozicijom možete kontrolirati i propustiti dovoljnu količinu svijetla. Ove postavke daju najčišće fotografije.
- Osjetljivost od 200 do 400 – za nešto tamnije uvjete, u sjeni ili interijerima gdje se ne želi još uvijek paliti bljeskalicu.
- Osjetljivost od 400 do 800 – pri snimanju u interijerima pri korištenju bljeskalice. Naime, zbog malo veće osjetljivosti pozadina fotografije na koju bljeskalica slabije utječe nije jako tamna, dok je prednji kadar pravilo eksponiran i ne primjećuje se šum.
- Osjetljivost od 800 do 1600 – za događaje koji se pretežito zbivaju u večernjim satima (slika 22.).
- Osjetljivost od 1600 do 3200 –kad su uvjeti tamni, odnosno kad se ne može koristiti bljeskalica ili stativ, međutim ovo je ujedno i gornja granica gdje je šum relativno malen i gdje djeluje efektno na fotografiji, a sve dalje zahtijeva dodatnu digitalnu obradu.



Slika 22. - Snimak noćnog neba uz osjetljivost od 800 do 1600

Izvor: http://www.astroyuki.com/galleries/Astrobilder%20finished/_thumbs/700x500-080805%20NGC%207000%2010x300sec%20ISO%20800%201600%20.jpg

2.5.2. Podešavanje bijelog balansa

Podešavanje bijelog balansa (WB - *white balance*) predstavlja uravnoteženje intenziteta osnovnih boja: crvene, zelene i da bi se neutralni tonovi (siva) prikazali bez ikakvog obojenja.

Bijeli balans se prilagođava prema vrsti izvora svjetla i važan je za pravilnu i kvalitetnu reprodukciju boja na fotografiji [1].

Ljudski sustav za promatranje prilagođava bijeli balans spontano jer ljudski mozak prepoznaje i prilagođava boju izvora svjetla tako da nam se čini da su neutralni tonovi (bijelo i sivo) uvijek neutralni bez obzira na osvjetljenje, koristeći se pri tome stečenim iskustvom i već viđenim pojavama.

Digitalni fotografski aparat također može prilagoditi bijeli balans automatski ovisno o uvjetima snimanja za razliku od klasične kolor fotografije kod koje je bilo potrebno unaprijed odabrati film prilagođen umjetnoj ili dnevnoj rasvjeti. Često su se ispred objektivu stavljali filtri koji su prilagođavali temperaturu boje svjetla uz dodatno filtriranje pri izradi pozitiva iz negativa filma [20].

Svaki izvor svjetla emitira svjetlo određene boje, koja ovisi o temperaturi žarne niti ili drugog procesa kod kojega se oslobađaju fotoni. Ako je temperatura pri kojoj se

isijavaju fotoni niža, svjetlo je crvenije, a što je temperatura viša svjetlo je plavije, pri čemu se temperatura boje svjetla izražava u Kelvinom stupnjevima (slika 23.).



Slika 23. - Temperature boje izražena u Kelvinom stupnjevima

Izvor: <http://fotografija.hr/wb-balans-bijele/>

Tako na primjer, svjetlo obične kućne žarulje ima temperaturu boje 3200° K, fotožarulja 3400° K, fluorescentna žarulja 2700 – 7200° K, direktno sunčevo svjetlo cca 5200° K, svjetlo bljeskalice 5400° K, oblačno nebo 6000° K, sjena 8000° K itd.

Međutim, najveći problem za automatsko podešavanje bijelog balansa kod digitalnih fotografskih aparata je miješano svjetlo (na pr. kućna žarulja i dnevno svjetlo), koje često kod snimanja digitalnih fotografija daje neuravnotežene ili neprirodne boje. Kod korištenja bljeskalice također su mogući problemi s miješanim svjetlom ukoliko je prostor osvijetljen običnim kućnim ili fluorescentnim žaruljama. U tom slučaju je dobro filtrirati svjetlo bljeskalice želatinskim filtrima koji se stavljaju ispred reflektora bljeskalice i to žućkasti za obične žarulje, a zelenkasti za fluorescentnu rasvjetu.

Fluorescentno svjetlo je također problematično za uravnoteženje bijele i postizanje prirodnih boja, a često se javljaju i tzv. “rupe” u spektru tj. ne-kontinuirani spektar, obzirom da vidimo samo ono što je osvijetljeno, te je moguće da pri takvoj rasvjeti na fotografiji nedostaju pojedine boje [21].

Zbog toga digitalni fotografi fotografiraju u „RAW“ formatu kod kojeg je moguće naknadno podešavanje bijelog balansa.

Moguće je također podesiti bijeli balans boje prije snimanja, jer kod većine digitalnih fotografskih aparata postoji opcija za podešavanje parametara bijelog balansa, a sve je savršenije i automatsko podešavanje bijelog balansa. Ono ovisi o filtru koji će propustiti više ili manje crvene boje.

Za snimanje kolor fotografija danas se često koriste testne karte za određivanje bijelog balansa i bijele boje. Primjenom testnih karti kod određenog izvora svjetla može se odrediti ispravan bijeli balans boje koji na fotografijama daje prirodne boje. Namještanjem bijelog balansa boje mogu se dobiti različiti efekti na fotografijama [22]. Međutim, kod infracrvene fotografije u cilju postizanja karakterističnih efekata, prilagođavanje bijelog balansa se nužno mora izvoditi ručno. Najčešće se preporuča

koristiti kao predložak obasjanu suncem zelenu površinu, primjerice travnjak ili plavo nebo, odnosno suncem osvjetljeni bijeli papir (slika 24.).



Slika 24. - U ovom primjeru fotograf je odabrao oblake na nebu kao parametar za postizanja balansa bijele boje

Izvor: http://diglloyd.com/articles/Infrared/images2/MonitorPassInfrared-sharp.jpg@auto.html?dglyD=-C_2zye6I8R9_Ok15Vki6oSdqGTSofF6H2-VsQ==

2.5.3. Ekspozicija i izoštravanje (fokusiranje)

Ekspozicija je ukupna količina svjetla kojoj je dopušteno da padne na fotografski medij (film ili senzor). Ekspozicija se mjeri u luks-sekundama i određuje se iz ekspozicijske vrijednosti i svjetline prizora. Ekspozicijske vrijednosti su sve kombinacije vremena eksponiranja i otvora objektiva koje daju istu količinu svjetla.

Fotografski aparati najčešće imaju ugrađene svjetlomjere koji mogu uhvatiti infracrveno zračenje, ali takvo automatsko mjerenje može dovesti do pogrešnog izračuna ekspozicije [23].

Najčešće je najbolje napraviti seriju fotografija dok se ne pronađe odgovarajuća ekspozicija. Puno jednostavnije je snimati s fotografskim aparatima koji imaju izvađeni interni filter. Na takvim fotografskim aparatima ekspozicija se mjeri normalno kao i za vidljivi dio spektra pa je automatsko snimanje preporučeno na modificiranim fotografskim aparatima koji su naknadno „promijenjeni“.

Kada se na nekom fotografskom aparatu koristi infracrveni filter vrijeme ekspozicije se povećava i takvo snimanje ponekad zahtjeva korištenje stativa.

Elementi ekspozicije na fotografskim aparatima koji koriste infracrveni filter najčešće se određuju ručno te se preporuča da fotografije budu podeksponirane, nego preeksponirane, obzirom da je naknadno u postupku obrade takvu podeksponiranu fotografiju jednostavnije i lakše obraditi.

Kod snimanja pejzaža najčešće se koristi ručno podešavanje elemenata ekspozicije jer se ručnim određivanjem ekspozicije omogućava veća kontrola nad dubinskom oštrinom koja je kod snimanja pejzaža bitna. Koriste se mali otvori objektiva, uz adekvatnu ekspoziciju [24].

Jedna od metoda koja se koristi kod određivanja ekspozicije kod infracrvene fotografije je tehnika „*bracketinga*“ koja u naravi predstavlja snimanje fotografija u serijama, najčešće 3-5 fotografija mijenjajući svaki put ekspoziciju [25].

Većina digitalnih fotoaparata ima ugrađenu opciju za „*bracketing*“ pomoću koje se može napraviti serija snimaka od kojih su neke podeksponirane, a neke preeksponirane u odnosu na uobičajenu ekspoziciju. Međutim, čak da to i nije slučaj, postoje takve opcionalne karakteristike kojima će biti moguće prilagoditi ekspoziciju za 1/2 ili 1/3 stope te se naknadnim pregledom odabire najkvalitetnija fotografija (slika 25.).

Jedna od najboljih tehnika ekspozicije koja se može primijeniti kod podeksponiranih snimaka je povećanje osjetljivosti, što kako je naprijed rečeno, može dovesti do stvaranja „šumova“ u fotografiji, ali daje i efekte specifične za infracrvenu fotografiju.

Što se izoštravanja treba napomenuti da većina objektiva ne može izoštriti infracrveno zračenje kao vidljivo zračenje. Zato je potrebno pomaknuti fokus. Što je otvor objektiva manji i veća žarišna dužina pomak fokusa će biti veći. Neki proizvođači na objektivima označavaju infracrveno područje za lakše snalaženje i snimanje.

Izoštravanje (fokusiranje) je najbolje provoditi na sljedeći način, poglavito iz razloga što se kroz infracrveni filter praktički ne vidi ništa:

- Kompoziciju slike odrediti bez filtra.
- Staviti filter
- Izvršiti ručno izoštravanje.



Slika 25. - Korištenje tehnike „*bracketinga*“ za određivanje najpovoljnije ekspozicije

Izvor: Farace, J.: Complete Guide to Digital Infrared Photography

3. PRIMJENA INFRACRVENE FOTOGRAFIJE

Primjena infracrvene fotografije je višestruka, a to joj omogućava upravo njena glavna karakteristika - mogućnost prikazivanja slike koja je inače ljudskom oku nevidljiva. Infracrvenom fotografijom bilježe se zračenja i elektromagnetski valovi u rasponu izvan vidljivog spektra zbog toga su efekti na infracrvenim fotografijama ponekad iznenađujući i veoma zanimljivi. Međutim infracrveni snimljeni materijal nema samo umjetničku prirodu nego se koristi i u vrlo praktične svrhe počevši od medicine, astronomije, kriminalistike, te u vojne, meteorološke, geološke i druge svrhe.

3.1. Infracrvena fotografija u medicini

U medicini je primjena infracrvene fotografije našla svoje puno opravdanje jer koristeći infracrveno zračenje dopire unutar ljudskog tijela otkrivajući u ranoj fazi medicinske probleme za koje je pravovremena dijagnostika često ključ uspješnosti izlječenja i remisije bolesti, primjerice kod tumora.

Osim navedenog infracrveno zračenje i na njemu bazirana infracrvena fotografija pomaže u dijagnosticiranju bolesti periferne cirkulacije i općenito krvožilnog sustava te oštećenja živaca.

Nije zanemariva ni njena uloga u dentalnoj medicini prilikom uočavanja oštećenja na zubnoj caklini koja se na infracrvenom snimku pokazuju kao zatamnjenje u odnosu na ostali zdravi dio zuba.

3.2. Infracrvena fotografija u vojne svrhe

Infracrvena fotografija koristi se u vojne svrhe prvenstveno za detektiranje traženih meta, koje se konvencionalnim metodama snimanja ne mogu otkriti. Ako se pri tome koristi snimanje iz zraka, na snimkama će se uočiti različiti intenziteti svjetline ovisno o količini zračenja pojedinog objekta [26].

Uređaji za noćno gledanje služe kada nema dovoljno svjetla za normalno gledanje. Ovi uređaji rade postupkom pretvaranja svjetlosnih fotona u elektrone, koji se zatim pojačavaju, kemijskim ili električnim postupcima, i zatim ponovo pretvaraju natrag u vidljive fotone. U ovom smislu uređaji za noćno gledanje mogu biti dio vojne opreme ali i služiti u ostale mirnodopske praktične svrhe.

3.3. Infracrvena fotografija u kriminalistici

U području kriminalistike je infracrvena fotografija neophodna pri osiguranju dokaza, kako na mjestu zločina tako i u naknadnim i laboratorijskim ispitivanjima.

Naročito se infracrvena fotografija pokazala korisnom nakon uvođenja digitalnih fotografskih aparata, kojima se osigurava dovoljan broj fotografija za obradu dokaza, a smanjuje se i vrijeme izrade i dostupnosti gotovih fotografija kao dokaznog materijala što je u odnosu na analogne snimke velika prednost. Infracrvenom fotografijom mogu se dokumentirati dokazi vezani za otiske i ostatke baruta i drugih dijelova vatrenog oružja, ostatke tkiva ili krvi, pretraživanje ostataka odjeće ili snimanje ozljeda bilo žrtve bilo osumnjičenika, kako na površini kože tako i ispod nje [27].

Također se u kriminalističke svrhe infracrvena fotografija koristi za otkrivanje bjegunaca na širem području na isti način na koji je to pojašnjeno kod korištenja ove vrste fotografije u vojne svrhe.

Posebna važnost infracrvene fotografije je kod krivotvorina bilo kojega oblika gdje se na snimkama lako uočava promjena pigmentacije krivotvorenih dijelova objekta.

3.4. Infracrvena fotografija u astronomiji

Infracrvena fotografija nalazi svoju široku primjenu u astronomiji te se bavi proučavanjem elektromagnetskog zračenja koje emitiraju svi objekti u svemiru. Infracrvena fotografija u svemiru omogućava promatranje objekata koji su skriveni iza oblaka plinova, svemirske prašine i maglice koja u vidljivom dijelu spektra zaklanja pogled. Infracrvenom fotografijom snimaju se galaksije, rađanja i umiranje zvijezda, međuzvezdane molekule i strujanja elektromagnetskih valova, ali isto tako i središte naše galaksije i planete (slika 26.). Infracrvenom fotografijom nastoji se doći i do podataka koji će pomoći u utvrđivanju starosti matične galaksije, starosti svemira i njegovog postanka te fenomena njegovog širenja [28].

Astronomi promatraju svemirske objekte u infracrvenom području elektromagnetskog spektra, sa svim dijelovima za optičke teleskope, uključujući ogledala, leće i detektore. Da bi dobili slike u infracrvenom spektru, dijelovi optičke opreme trebaju biti pažljivo zaštićeni, a detektori se obično hlade s tekućim helijem.



Slika 26. - Infracrvena slika galaksije Andromeda

Izvor: <http://www.smashingmagazine.com/images/infrared-photography/massi.jpg>

Osjetljivost infracrvenih teleskopa na Zemlji je znatno ograničena zbog vodene pare u atmosferi, koja upija dio infracrvenog spektra, koji dolazi iz svemira, osim u područjima “atmosferskih prozora”. Zbog toga je bolje infracrvene teleskope smjestiti na velike nadmorske vine, postaviti ih u balone na vrući zrak ili u avione.

Infracrveni teleskopi su korisni za astronome, jer hladni i tamni molekularni oblaci plina i prašine zamagljuju pogled na mnoge zvijezde. Infracrveni teleskopi se isto koriste za promatranje protozvijezda, prije nego počnu emitirati vidljivu svjetlost. Budući da zvijezde vrlo malo emitiraju u infracrvenom području, moguće je otkriti reflektiranu svjetlost s planeta.

Prvi infracrveni satelit koji je lansiran u Zemljinu orbitu zvao se IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*). Obzirom da Zemljina atmosfera apsorbira dio elektromagnetskog zračenja i ne propušta ga do površine Zemlje, njegovim pozicioniranjem u orbiti dobivaju se na temelju infracrvenih fotografija precizniji podaci koji unaprjeđuju čovjekovo znanje o svemiru.

3.5. Infracrvena fotografija u geologiji

Infracrvena fotografija u geologiji služi za snimanje i promatranje geološko – morfoloških aspekata koje se ne mogu vidjeti golim okom, fotografijom u boji ili uobičajenom crno-bijelom fotografijom.

Koristeći snimanje iz satelita ili iz aviona utvrđuju se područja zagađenja okoliša, vode ili zraka jer ono emitira drugačije infracrveno zračenje od normalnog. Zdrava vegetacija izgleda bijelo na fotografijama dok spaljena ili uništena na infracrvenim fotografijama djeluje tamno. Fotografije snimljene blizu vode, privlače određenu vegetaciju i daju drugačiju infracrvenu snimku od područja s manje vode (slika 27.). Snimanje infracrvene fotografije iz satelita značajno je po tome što se mogu pronaći izvori minerala, ali se i mjeriti pomaci tla i tektonskih ploča. Također infracrvenom fotografijom može se i mjeriti sastav zemljine kore.



Slika 27. - Infracrvena fotografija kanala Sacramento

Izvor:<http://www.aerialarchives.com/infraredcolors.htm>

3.6. Infracrvena fotografija u meteorologiji i klimatologiji

Meteorološki sateliti, opremljeni s radiometrima, stvaraju toplinske, ali i i infracrvene slike, na kojima meteorolozi mogu odrediti vrstu i visinu oblaka, temperature vodenih površina i kopna te time vrlo precizno i dugoročnije izraditi točne vremenske prognoze te klimatološka predviđanja.

3.7. Infracrvena fotografija u povijesti umjetnosti

Infracrveni reflektogrami, kako ih nazivaju povjesničari umjetnosti, služe za otkrivanje skrivenih slojeva boje na umjetničkim slikama (slika 28.) [29]. To im služi da otkriju da li je slika izvornik ili kopija, ili ako je slika izmijenjena s restauratorskim radovima. Infracrveni uređaji su korisni i kod otkrivanja starih spisa, kao što su “Svitci s Mrtvog mora” ili spisi pronađeni u Mogao špilji.



Slika 28. - Infracrvena fotografija otkriva nikad do tada viđene detalje renesansne slike

Izvor: <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2012/2-reflectedinf.jpg>

4. ZAKLJUČAK

Iako nevidljiva našem oku infracrvena svjetlost posjeduje neke slične karakteristike kao i vidljiva svjetlost: ona se može fokusirati i reflektirati te se kao i vidljiva svjetlost može polarizirati.

Infracrvena kolor fotografija, kao dio ukupnog fotografskog spektra postaje sve popularnija. Lakoća stvaranja i izrade fotografija nježnih boja s ukomponiranim karakteristikama infracrvene fotografije, ovu vrstu fotografije čini sve popularnijom i zanimljivijom kako rekreativnim fotografima tako i profesionalcima.

Usporedo s razvojem digitalne fotografije i njoj primjene opreme razvijala se i digitalna infracrvena fotografija. Ona je u odnosu na klasičnu infracrvenu fotografiju omogućila lakše snimanje fotografskog materijala, njegovu obradu i pregled uz trenutačno prilagođavanje potrebnih parametara, olakšala ispis te istakla niz prednosti u odnosu na postupak snimanja klasičnih infracrvenih fotografija.

Primjena infracrvene fotografije je višestruka, a to joj omogućava upravo njena glavna karakteristika - mogućnost prikazivanja slike koja je inače ljudskom oku nevidljiva. Infracrvenom fotografijom bilježe se zračenja i elektromagnetski valovi u rasponu izvan vidljivog spektra zbog toga su efekti na infracrvenim fotografijama ponekad iznenađujući i veoma zanimljivi. Međutim infracrveni snimljeni materijal nema samo umjetničku prirodu nego se koristi i u vrlo praktične svrhe počevši od medicine, astronomije, kriminalistike, te u vojne, meteorološke, geološke i druge svrhe.

5. LITERATURA

1. Farace, Joe: *Complete Guide to Digital Infrared Photography*
<http://evtifeev.com/wp-content/files/books1> (20. srpnja 2015.god.)
2. http://kqcbeauty.com/kqc/wp-content/uploads/2010/08/infrared_spectrum.jpg
(20. kolovoza 2015.god.)
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_photography (20. srpnja 2015.god.)
4. <http://www.agrif.bg.ac.rs/files/subjectfiles/704/Vesna%20Rakic%20predavanje%204%20IR%20Master-2012.pdf> (27. srpnja 2015.god.)
5. Ang, T.(2009.); *Digital Photography – An Introduction*, Dorling Kinderrley, London
6. <http://www.noupe.com/photography/beyond-visible-100-years-of-infrared-photographs.html> (21. srpnja 2015.god.)
7. <http://www.tutorial9.net/tutorials/photography-tutorials/infrared-photography/>
(20. srpnja 2015.god.)
8. <http://www.kodak.com/global/en/professional/support/techPubs/f13/f13.pdf> (20. srpnja 2015.god.)
9. <http://www.smashingmagazine.com/images/infrared-photography/massi.jpg>
(10. kolovoza 2015.god.)
10. <http://www.digital-photography-school>. (21. srpnja 2015.god.)
11. <http://photonotes.org/articles/ir-myths/> (03. kolovoza 2015.god.)
12. <http://diglloyd.com/articles/Infrared/images2/MonitorPassInfrared-sharp.jpg@auto.html> (20. kolovoza 2015.god.)
13. Annaratone, M; Ruscello, C.: *Digital Infrared Photography Part One*,
<http://www.effeunoequattro.net/> (20. srpnja 2015.god.)
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter (20. srpnja 2015.god.)
15. http://www.ir-photo.net/image/standard_camera.png (20. kolovoza 2015.god.)
16. <http://fotodanimladih.com.hr/infracrvena-fotografija-nevidljiva-ljudskom-oku>
(27. srpnja 2015.god.)
17. Weston, Ch. (2009.), *Mastering Filters for Photography*, Rotovision, Hove
18. <http://www.wrotniak.net/photo/infrared/#NEED> (24. srpnja 2015.god.)
19. <http://www.infraredphoto.eu/Site/BillionPixel.html> (24. srpnja 2015.god.)
20. <http://diglloyd.com/articles/Infrared/images2/4-renderings.jpg> (20. kolovoza 2015.god.)

21. <http://www.fotografija.hr/infracrvena-fotografija-tehnika-efekt-ili-umijece-2/6158/#comments> (24. srpnja 2015.god.)
22. http://www.wrotniak.net/photo/infrared/_img/5060t-89b-4.x.jpg (20. kolovoza 2015.god.)
23. <http://www.luminous-landscape.com/reviews/cameras/infrared%20dslr.shtml> (20. kolovoza 2015.god.)
24. <http://www.fotokemika.hr/details/48/0/black-white-films/infrared-type-tilm> (27. srpnja 2015.god.)
25. http://www.infraredphoto.eu/Site/Diffraction_and_Image_Quality.html (27. srpnja 2015.god.)
26. <http://photographylife.com/introduction-to-infrared-photography> (20. srpnja 2015.god.)
27. http://forenzika.unist.hr/Portals/6/docs/Predmeti_Program_Forenzika.pdf (03. kolovoza 2015.god.)
28. http://apod.nasa.gov/apod/image/0701/sombrero_spitzer_big.jpg (10. kolovoza 2015.god.)
29. <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2012/2-reflectedinf.jpg> (20. kolovoza 2015.god.)