

# ODRŽAVANJE LCD TELEVIZORA

---

**Kvesić, Tin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:663503>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**ODRŽAVANJE LCD TELEVIZORA**

**Diplomski rad**

**Tin Kvesić**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 28.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Ime i prezime studenta:	Tin Kvesić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1181, 16.09.2019.
OIB studenta:	58770963376
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić
Sumentor:	Dina Jukić
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof. dr. sc. Željko Hederić
Član Povjerenstva 1:	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić
Član Povjerenstva 2:	Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić
Naslov diplomskog rada:	ODRŽAVANJE LCD TELEVIZORA
Znanstvena grana rada:	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Zadatak diplomskog rada:	Zadatak rada je objasniti način rada i funkciju pojedinih dijelova LCD televizora. Napravavit pregled postupaka ispitivanja stanja LED LCD TV pozadinskog osvjetljenja i objasniti pojedine ispitne metode. Posebnu pažnju posvetiti fotometrijskim ispitivanjima i tremovizijskoj analizi u infracrvenom termalnom dijelu spektra. Na praktičnom primjeru provesti mjerenje sjanosti pozadinskog osvjetljenja za različite vrijednosti postavki iznosa osvjetljenja. Na osnovi rezultata mjerenja i provedene analize literature formirati zaključna razmatranja o stanju pozadinskog osvjetljenja.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	28.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 13.10.2020.

Ime i prezime studenta:

Tin Kvesić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1181, 16.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

48 %

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **ODRŽAVANJE LCD TELEVIZORA**

izrađen pod vodstvom mentora Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić

i sumentora Dina Jukić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## *Zahvale:*

*Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Tomislavu Bariću, svojoj sumentorici mag. educ. phys. et inf. Dini Jukić te izv. prof. dr. sc. Hrvoju Glavašu na ukazanom povjerenju i pomoći tijekom izrade diplomskog rada te se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su bili potpora tijekom studija i bez kojih ovo ne bi bilo ostvarivo.*

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak rada .....	1
2. POVIJEST LCD-a.....	2
3. LCD TELEVIZOR.....	4
3.1. Tipovi ravnih televizora.....	4
3.1.1. Odnos LED - LCD .....	7
3.2. Sadržaj i funkcija LCD televizora .....	8
3.2.1. Dijelovi i vrste.....	9
3.2.2. Pozadinsko osvjetljenje.....	12
3.2.3. Polarizatori i polarizacija svjetlosti.....	14
3.2.4. Elektrode i TFT .....	16
4. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA LCD TELEVIZORA .....	18
4.1. Infracrvena kamera i princip rada.....	20
4.2. Moguće smetnje tijekom mjerenja .....	22
4.2.1. Emisivnost.....	23
4.3. LCD kvarovi .....	24
4.4. Infracrveno termalno ispitivanje.....	26
4.5. Analiza testiranja .....	27
5. FOTOMETRIJA LCD TELEVIZORA.....	31
5.1. Fotometrija.....	31
5.2. Praktična provedba fotometrijskog ispitivanja televizora .....	33
6. ZAKLJUČAK .....	46
7. LITERATURA.....	47
POPIS OZNAKA .....	50
POPIS KRATICA .....	51
POPIS SLIKA .....	52
POPIS TABLICA.....	54
SAŽETAK.....	55
ŽIVOTOPIS .....	56

# 1. UVOD

U ovom diplomskom radu će se generalno objasniti uloga te izvršiti potrebna mjerenja i analiza LCD televizora. LCD televizor je televizor koji koristi tehnologiju tekućih kristala za dobivanje vidljive slike (engl. *Liquid Crystal Display*) te su najzastupljeniji i najprodavaniji televizijski zaslon u svijetu. LCD ekrani su tanki i lagani, ali kao i svi moderni uređaji, ovisno o vrsti, imaju svoje pozitivne i negativne aspekte. Koriste se uglavnom u ekranima prijenosnih računala, televizora i mobitela. LCD tehnologija omogućava neusporedivo tanje zaslone u usporedbi s prethodnom tehnologijom katodnih cijevi čime predstavlja veliki korak naprijed u moderno doba.

Uvodni dio se započinje s povijesnim otkrićem tvari koja je korijen današnjeg LCD-a. Zatim slijedi detaljnije opisivanje strukture i funkcije rada LCD televizora. Također se otvara s najmanjim elementima kako bi se obuhvatio cjelokupan proces principa rada. Uspoređuju se tipovi ravnih zaslona čijoj grupi pripada i LCD te se objasnio sadržaj i uloga svake pojedine komponente televizora. Različiti tipovi zaslona, vrste pozadinskog osvjetljenja, raspored struktura tekućih kristala te raznorazne vrste koje LCD televizor nudi su uspoređeni i objašnjeni. Zatim u razradi slijede praktična ispitivanja televizora metodama infracrvene termografije i fotometrije. Prvotna se temelji na ispitivanju temperature unutar valnih duljina infracrvenog spektra, dok metoda fotometrije mjeri luminaciju, ali u okvirima elektromagnetskog spektra vidljive svjetlosti. Cilj ispitivanja je bio utvrditi stanje LCD televizora, eventualno utvrditi potencijalne kvarove pozadinskog osvjetljenja te usporediti rezultate s teorijskom osnovom. Kućni televizori i televizori s fakulteta su bili predmeti testiranja, a rezultati su izračunati i zabilježeni u tablicama. Naposljetku, analiza i zaključak su doneseni.

## 1.1. Zadatak rada

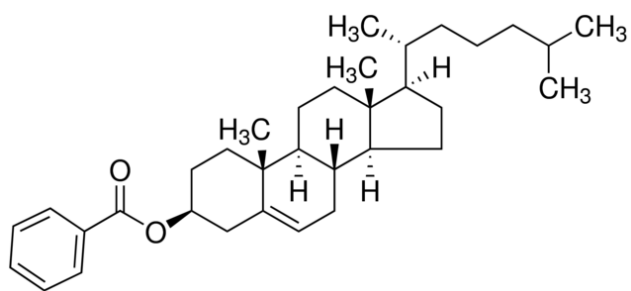
Zadatak rada je objasniti osnovne dijelove LCD televizora. Na praktičnom primjeru provesti mjerenje pozadinskog osvjetljenja i utvrditi stanje LED-a. Objasniti princip rada i osnovne dijelove LCD televizora. Provesti analizu mogućih načina ispitivanja i objasniti metode. Na praktičnom primjeru provesti analizu stanja pozadinskog osvjetljenja mjerenjem u vidljivom dijelu spektra te analizu rada LCD televizora u infracrvenom termalnom spektru.

## 2. POVIJEST LCD-a

Tekući kristali su prvi put otkriveni 1888. godine u kolesterolu izvađenom iz mrkve austrijskog botaničara i kemičara Friedricha Reinitzera. Kada je zagrijavao tvar pod nazivom kolesteril benzoat (engl. *Cholesteryl benzoate*), (Slika 2.1.) zamijetio je da ima 2 točke taljenja. U početku se na 145 °C otopio i pretvorio u mutnu tekućinu. Kada je dosegla 179 °C opet se promijenila, no ovaj put u bistru tekućinu. Osim navedenog uočio je i da supstanca održava polariziranu svjetlost, a također je mogla i zakretati smjer polarizacije svjetlosti. 1936. godine Marconi Wireless Telegraph Company će patentirati "ventil s tekućim kristalima" što je bio prvi put da se stvorio zaslon sa selektivnim blokiranjem svjetla. Godine 1962., RCA istraživač Richard Williams stvorio je prugaste uzorke u tankom sloju tekućeg kristala primjenom napona. Taj se učinak temelji na elektro-hidro-dinamičkoj nestabilnosti koja tvori ono što se danas naziva "Williamsova domena" unutar tekućeg kristala. Williamsova domena opisuje dielektrično poravnanje u nematskom tekućem kristalu. Dielektrici su vrlo loši vodiči električne struje, a umjesto toga omogućuju električnu polarizaciju. Prema [1], između 1964. i 1968. u istraživačkom centru RCA David Sarnoff u Princetonu, New Jersey, tim inženjera i znanstvenika pod vodstvom Georgea Heilmeiera s Louisom Zanonijem i Lucianom Bartonom osmislio je metodu za elektroničku kontrolu svjetla koja se reflektira od tekućih kristala i prikazali prvi zaslon s tekućim kristalima. Njihovim radom pokrenuta je globalna industrija koja sada proizvodi milijune LCD-a. Heilmeierovi prikazi s tekućim kristalima koristili su ono što je nazvao DSM ili metodu dinamičkog raspršivanja, pri čemu se primjenjuje električni naboj koji prelazi graničnu vrijednost te preuređuje molekule tako da one raspršuju svjetlost. DSM dizajn je loše funkcionirao, a zamijenila ga je poboljšana verzija koja je koristila zavrnuti nematični efekt polja tekućih kristala izumljena 1969. godine od strane Jamesa Fergasona.

Izumitelj James Fergason posjeduje neke od osnovnih patenata u prikazima s tekućim kristalima prijavljenima ranih 1970-ih, uključujući ključni američki patentni broj 3,731,986 "uređaji za prikaz koji koriste modulaciju tekuće kristalne svjetlosti". 1972. Međunarodna kompanija za tekuće kristale (ILIXCO) u vlasništvu Jamesa Fergasona proizvela je prvi moderni LCD sat zasnovan na patentu Jamesa Fergasona. U aktivnom matrix zaslonu se svaki piksel kontrolirao individualno što je bilo ključno za LCD televizore. 1988. godine je u ponudi bio Sharp televizor koji su si mogli priuštiti samo najbogatiji. Do 2004. godine mali LCD televizori su bili u prodaji, no radi cijene bi se i dalje odlučivali za stare CRT sve do 2007. godine kada je prodaja LCD televizora premašila prodaju CRT televizora te time započela novu eru u tehnologiji [1].





**Slika 2.1.** – Cholesteryl Benzoate, supstanca koja je korijen današnje tehnologije tekućih kristala, [2].

### 3. LCD TELEVIZOR

#### 3.1. Tipovi ravnih televizora

Tehnologija zaslona se neprestano razvija i različita vrsta seta može značajno utjecati na kvalitetu željene slike. Moderni televizori sadrže niz zbunjujućih akronima, formata i tehnoloških žargona, a sve su namijenjene promociji i objašnjenju njihovih značajki, stoga razlikovanja znaju biti otežana. Kako bi se izbjegle nesuglasice i dvojbe oko tipova i međusobnih razlika ravnih televizora, navest će se tipovi i razlike karakterno sličnih ravnih televizora.

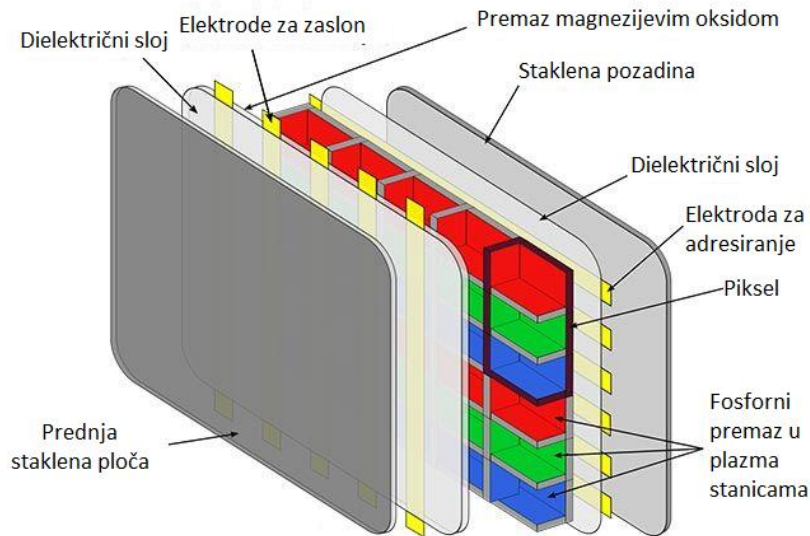
CRT (engl. *Cathode Ray Tube*) televizor je televizor temeljen na staklenoj vakuumskoj katodnoj cijevi koja proizvodi usku elektronsku zraku s preciznom kinetičkom energijom i fosforescentnim ekranom koji prikazuje sliku [3]. Ispaljivanjem elektrona iz cijevi uzbuđuju se čestice na ekranu te se tako stvara slika. Upravo zbog navedene ogromne cijevi i ekrana, CRT televizor je bio zaista velik i težak (Slika 3.1.), pa je s uvođenjem LCD televizora na tržište u potpunosti započeo proces nestajanja iz proizvodnje početkom 21.stoljeća. Iako su se manje kvarili, osim nekompaktnog vanjskog izgleda, definitivno nije mogao konkurirati ni po specifikacijama.



**Slika 3.1.** – Prikaz CRT monitora, [3].

LCD (engl. *Liquid Crystal Display*) ili televizor s tekućim kristalima je kao što sama riječ kaže, televizor koji koristi zaslon s tekućim kristalima kako bi proizveo sliku. Oni su najzastupljeniji i najprodavaniji TV zaslon. LCD televizori lagani su i tanki, no imaju i neke nedostatke ovisno o modelu u usporedbi s drugim vrstama zaslona, kao što su velika potrošnja energije, lošiji kontrast i lošiji raspon boja. Koriste se u većini prijenosnih računala i TV ekrana. LCD je ravna ploča, a sastoji se od više slojeva koji mogu propustiti ili blokirati svjetlost da prođe povećanjem ili smanjenjem električne struje što će se detaljnije pojasniti u sljedećem poglavlju. LCD kristali ne proizvode vlastitu svjetlost, stoga je potreban vanjski izvor svjetlosti poput fluorescentnih ili LED žarulja [5].

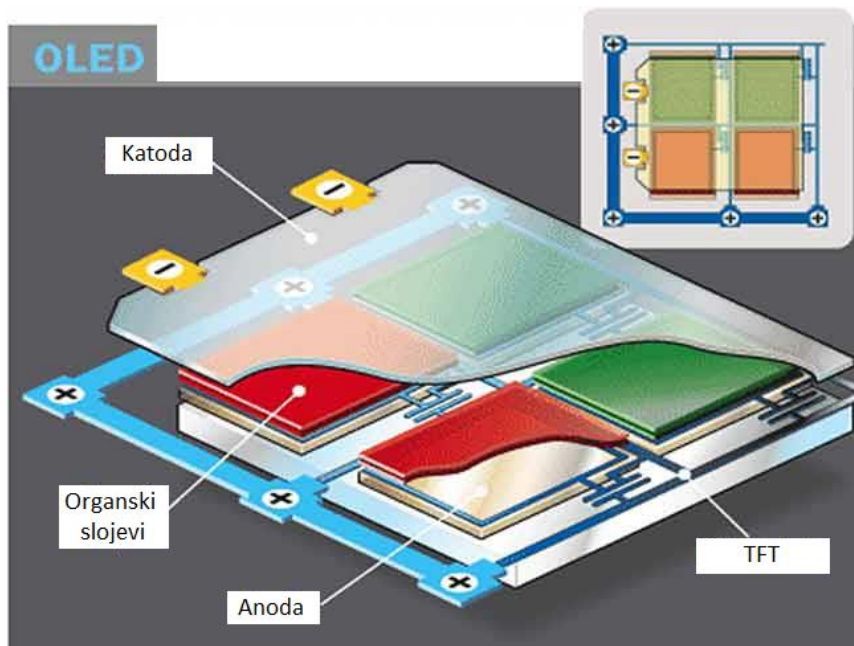
PDP (engl. *Plasma Display Panel*) ili plazma ekrani izrađeni su od dvije stranice stakala s mješavinom plinova pohranjenih između slojeva (Slika 3.2.). Korišteni plinovi su neon ili ksenon, a rubovi iznutra su premazani fosforom. Ti se plinovi ubrizgavaju i zapečaćuju u plazmi tijekom procesa proizvodnje odakle i dolazi naziv Plazma TV. Kada se napune energijom, plinovi reagiraju te uzrokuju osvjetljenje u pikselima preko zaslona. Plazma je u usporedbi s LCD i LED televizorima superiornija u pogledu kontrasta i točnosti boja. No brojni nedostaci su je izbacili s tržišta. Prvi je ograničenje na velike zaslone radi velikih troškova, preko 40 inča, čime su plazme televizori bili puno efikasniji samo u većim oblicima. Ali popularizacijom LCD-a Plazma se izgubila, a glavni razlog tomu je smanjenje potražnje jer su ljudi vjerovali da je LCD televizor noviji te bolja tehnologija, a do toga je rezultiralo dodatnim detaljima u usporedbama kao što je veća težina PDP televizora, veće generiranje topline te ponajviše puno veća potrošnja energije - Plazma iziskuje 300 do 700 W, dok za usporedbu LCD troši 50 do 250 W, OLED 15 do 60 W te se čak i stari CRT ograničio na maksimalnih 150 W [7]. Fenomen retencije slike je također obilježio Plazmu TV s problemom kada ista slika ostane na ekranu dulje vrijeme pa ostane "urezana" na zaslonu određeni period nakon prebacivanja. Taj problem i danas nije u potpunosti odstranjen kao u nekim primjerima OLED-a, no trenutno je u puno manjim omjerima. Od proizvodnje Plazme televizora je prvi odustao Sony, a zadnji je proizveden od strane LG-a, Samsung-a i Panasonic-a 2014. godine.



**Slika 3.2.** – Shematska konfiguracija matrične elektrode PDP-a, [4].

QLED (engl. *Quantum Dot LED*) tehnologija je drugačija od LCD-a i LED-a za skraćenicu Q koja označava kvantnu točku, a pridonosi povećanom stupnju djelovanja ponašajući se kao veći atom. Kvantne točke na drugačiji način generiraju boju za razliku od klasičnih LED panela. Najvažnija razlika je u tome što kvantne točkice mogu proizvesti gušće i zasićenije boje koje su preciznije određene. Glavni razlog za implementaciju kvantnih točkica u LED televizorima jest sposobnost kreacije svjetline te intenziteta boja kako bi djelovale manje "isprano", a pružile najveću kvalitetu HDR slike. Laički rečeno, QLED je LED na steroidima, ima širi spektar boja, povećanu svjetlinu, energetski je učinkovitiji, no upitno je da li je vrijedan puno veće cijene.

OLED (engl. *Organic Light Emitting Diode*) je ogroman skok naprijed u tehnologiji zaslona danas te za razliku od svog imena ne predstavlja isto što i LED. OLED označava organsku svjetlosnu diodu koja fenomenom elektroluminiscencije generira sliku. Dakle OLED koristi organske materijale poput ugljika za emitiranje svjetlosti kada se opskrbljuju izravno električnom strujom (Slika 3.3.). Za razliku od LED/LCD ekrana, OLED televizor ne zahtijeva pozadinsko osvjetljenje za osvjetljenje zaslona, pa je zbog toga zaslon ekstremno tanak i bitno fleksibilan. Kako se pojedina područja mogu osvjetljivati izravno, a ne pomoću vanjskog osvjetljenja, boje i kontrasti su puno bolji na OLED televizoru. U cjelini, OLED je tanji, fleksibilniji, brži u obradi slika, stvara dublje boje, jasniji kontrast, troši manje snage, ima širok kut gledanja te pruža najbolju kvalitetu slike koja je trenutačno raspoloživa. Predstavlja budućnost svih televizora, no trenutni problem je vrlo visoka cijena, iako nije puno skuplji od najboljih LED modela.



**Slika 3.3.** – Presjek tipičnog OLED panela, [6].

### 3.1.1. Odnos LED - LCD

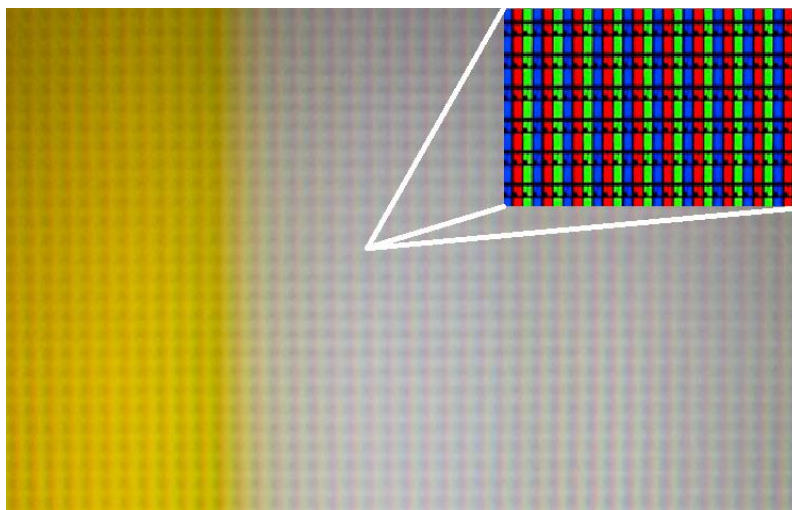
Suprotno uvriježenom mišljenju, LED televizori nisu potpuno novi format televizora, već su samo ažurirana verzija prethodne generacije LCD televizora. Razlika je u pozadinskom osvjetljenju gdje LED (engl. *Light Emitting Diode*) televizori koriste svjetleće diode koje emitiraju svjetlost umjesto dosadašnjih fluorescentnih lampi s hladnom katodom. Svjetleća dioda ili LED jest poluvodički elektronički element koji služi za pretvaranje električnog signala u optički odnosno svjetlost, a izrađuje se od galija, arsena i fosfora te u nekim slučajevima indija. Svaka dioda od jedinice pozadinskog osvjetljenja na sebi ima leću koja širi svjetlo na strane kako ne bi bilo žarišnih točaka. LED se, dakle, bazira na istoj tehnologiji tekućih kristala kao i LCD televizor, ali su za rezultat učinkovitiji i u manjim dimenzijama te tako televizor može biti uži [8].

Budući da se i LED i LCD televizori temelje na LCD tehnologiji, više nije pitanje u čemu je razlika, nego u čemu je bila razlika. Odgovor je pozadinsko osvjetljenje, no danas iako imaju različitu kraticu, LED televizor je samo specifična vrsta LCD televizora. Pravi naziv bi zapravo bio "LED osvjetljeni LCD televizor", ali to je previše nepraktično za izgovor i marketing pa ih stoga ljudi uglavnom nazivaju LED televizorima [8]. Uostalom, uz bolju tehnologiju, svi današnji LCD televizori koriste LED pozadinska svjetla, pa se stoga kolokvijalno smatraju LED televizorima kao u ovom radu te predstavljaju spoj najboljeg pozadinskog osvjetljenja s najboljom tehnologijom tekućih kristala za prikaz što kvalitetnije slike.

## 3.2. Sadržaj i funkcija LCD televizora

LCD se razlikuje prema izvoru svjetlosti: reflektivni, transmisivni i transflektivni. Pod reflektivne se ubraja tip kalkulatora koji koristi vanjsku svjetlost te ju reflektira ogledalom. Transmisivni je najzastupljeniji i na njemu se bazira rad, a ima široku primjenu: LCD zaslone, mobiteli, laptopi itd. Zadnja vrsta je transflektivna, a podrazumijeva reflektivnu i transmisivnu u jednom, za primjer navodi se pametni sat. Dijelovi su najčešće identični u većini zaslona, a osim navedenog pozadinskog osvjetljenja, od osnovnih dijelova sastoje se još od horizontalnog i okomitog polarizatora, tekućeg kristala, pozitivne i negativne elektrode te na kraju zaslona za prikaz slike. Kako bi se shvatio princip rada LCD-a te RGB (engl. *Red, green, blue*) sustava za dobivanje slike, objašnjenje se započinje od najmanje jedinice koja se vidi na zaslonu i završno tvori sliku – piksel. Piksel je najmanji element tvorene slike na ekranu, a sadrži crveni, zeleni i plavi podpiksel (engl. *subpixel*) [9]. Svaka od 3 navedene boje sadrži 256 različitih intenziteta po boji što daje broj od 16 777 216 različitih varijacija boja koje se mogu prikazati na ekranu (Slika 3.4.). Intenzitet svakog podpiksela se regulira pažljivom kontrolom i promjenom primijenjenog napona. Kako raste intenzitet boje tako slika postaje svjetlija, a s opadanjem intenziteta postaje tamnija. 0,0,0 predstavlja crnu, dok 255,255,255 predstavlja bijelu boju. Takav jedan obojeni filter se sastoji od milijuna piksela na tankoj staklenoj podlozi u kojoj se svaki podpiksel kontrolira odgovarajućim tranzistorom.

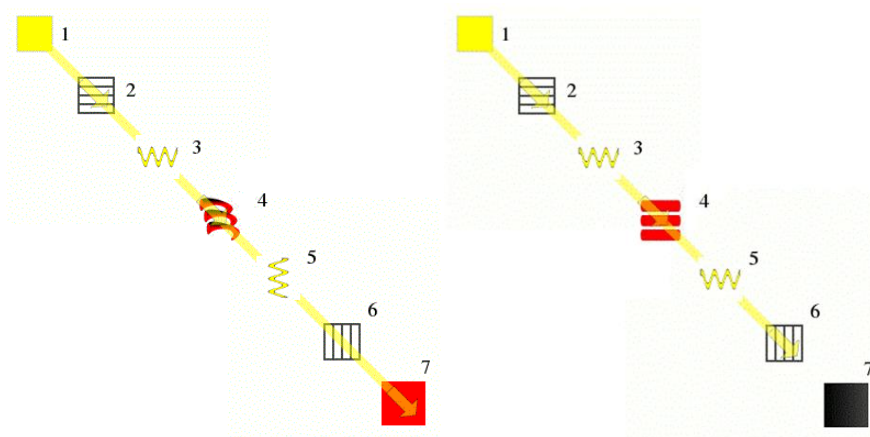
Najzastupljeniji u uporabi je Bayerov filter. Patentirao ga je Bryce Bayer kada je prema fiziologiji ljudskog oka nazvao zelene foto-senzore osjetljivim na osvjetljenje, a crvene i plave osjetljivim na razlike u nijansama boja. Stoga, Bayerov filter upotrebljava dvostruko više zelenih elemenata u kvadratnoj mreži RGB-a. Sistem koristi binarni sustav s bazom 2 koji sadrži samo dva broja: 0 i 1, čime individualna boja filtra ima  $2^8$  tj. 256 različitih nijansi. Usprkos tome, označava se od 0 do 255 jer ove vrijednosti nisu slijed brojeva, već broj koji označava intenzitet svjetlosti na RGB komponentama, a 0 nema intenziteta (odsustvo svjetlosti – crna boja). U svakom slučaju, 255 je najveći prirodan broj koji se može zapisati u 8-bitnom zapisu.



**Slika 3.4.** – Prikaz LCD-a pod povećalom.

### 3.2.1. Dijelovi i vrste

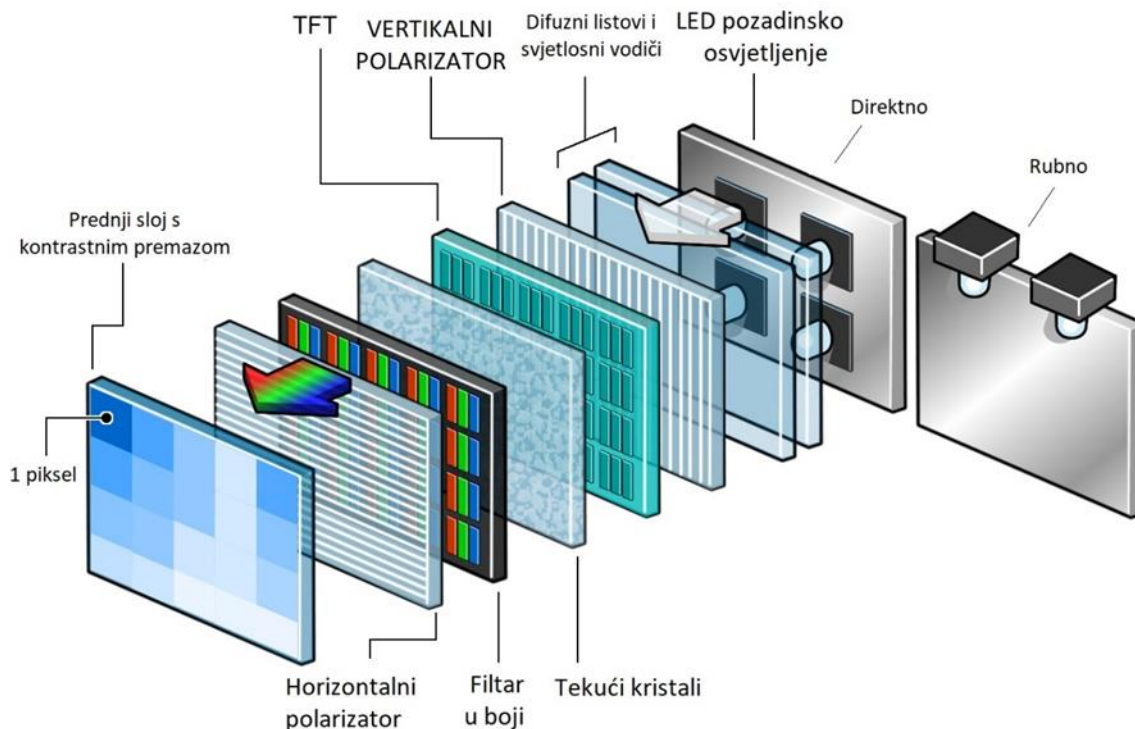
LCD tehnologija omogućuje tanji zaslon u odnosu na dotadašnje televizore. Tekući kristal je kombinacija 2 agregatna stanja: tekućeg i krutog, po čemu su i dobili naziv jer u krutom stanju nastoje održati svoju orijentaciju kao obilježje krutog agregatnog svojstva, dok se istovremeno pomiču po različitim pozicijama kao molekule tekućeg agregatnog stanja što znači da nisu ni kruti ni tekući [5]. Tekući kristali su osjetljivi na temperaturu jer je potrebna mala promjena temperature da se iz tekućih kristala pretvore u tekućinu, zato se osim u LCD monitorima, mobitelima i sličnim uređajima, koriste i za izradu termometara. Zaslon s tekućim kristalima radi na principu blokiranja svjetlosti (Slika 3.5.), a ne emitiranja svjetlosti te zahtijeva pozadinsko osvjetljenje jer sam tekući kristal ne emitira svjetlost.



**Slika 3.5.** – Način na koji se obojani pikseli uključuju i isključuju na LCD televizoru, [10].

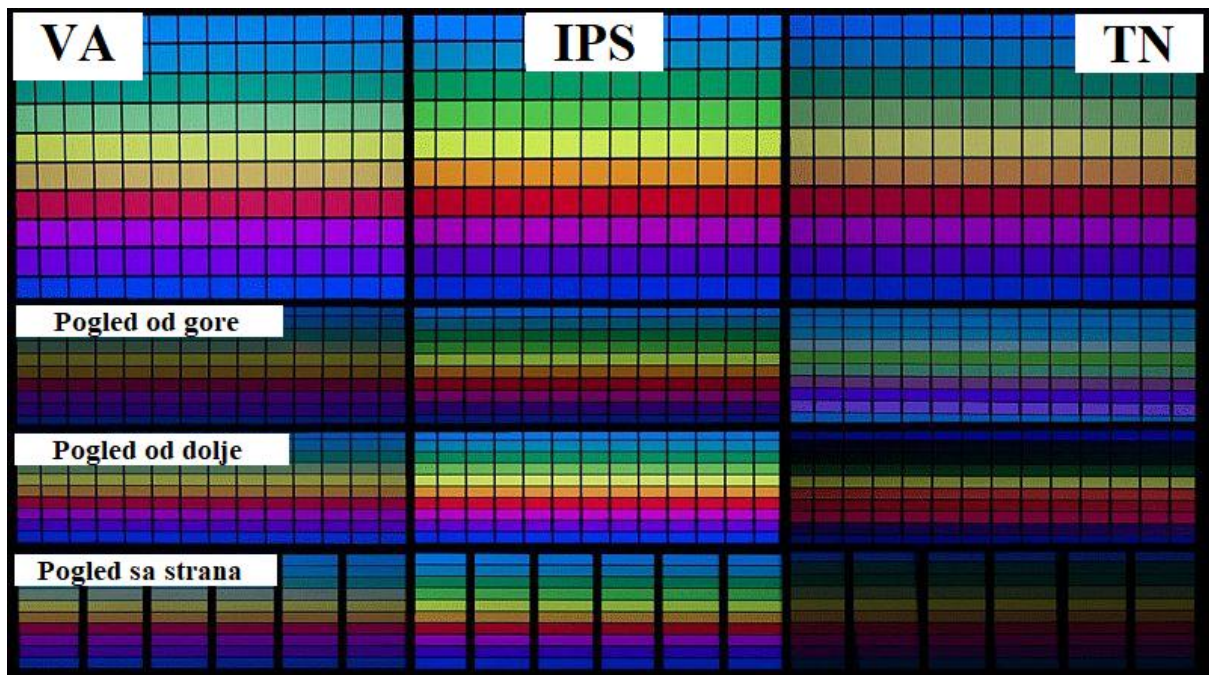
LED LCD televizori funkcioniraju na sljedeći način. Prema slici 3.6., kako se zaslon uključuje, LED pozadinsko osvjetljenje emitira bijelu svjetlost. Svjetlost ulazi u ploču svjetlosnog vodiča LGP (engl. *Light Guide Plate*), reflektira se iznutra i ravnomjerno raspoređuje po površini ploče. Zatim difuzijski sloj dodatno raspršuje svjetlost kako se izvan ploče ne bi pojavile žarišne točke. Reflektorski sloj BEF (engl. *Brightness Enhancement Film*) reciklira raspršenu svjetlost, a list prizme osigurava da je svjetlost fokusirana i usmjerena prema gledatelju. Ispred slojeva za optimiziranje pozadinskog osvjetljenja nalaze se 2 polarizirajuća filtra. Prvi blokira sve vertikalne svjetlosne valove, a drugi, zarotiran za 90 stupnjeva, blokira sve horizontalne svjetlosne valove. Zajedno tada blokiraju svu svjetlost koju kreira pozadinsko osvjetljenje, stvarajući na prednjem zaslonu besprijekorno praznu sliku. Tu nastupa sloj tekućih kristala. U svom prirodnom stanju molekule tekućeg kristala uvijaju se za 90 stupnjeva te tako mijenjaju orijentaciju svjetlosti. To znači da bi tada svjetlost bila propuštena i kroz drugi polarizator, stvarajući potpuno bijeli ekran. Kako bi kontrolirali svjetlost koja prolazi kroz polarizatore, primjenjuje se odgovarajući napon koji je postavljen na svaki tekući kristal koristeći tranzistore i zajedničku elektrodu. Kada elektroda provede električnu struju, uzrokovat će poravnavanje molekula tekućih kristala te se tako svjetlost neće moći zavrnuti i proći kroz drugi polarizator te će biti blokirana. Tekući kristali mogu blokirati bijelu svjetlost u različitim intenzitetima. Upravljanjem napona kontrolira se okret, a samim time i količina svjetlosti koja će proći kroz drugi filter. Pomoću ovog sustava i jednog tekućeg kristala po pikselu može se stvoriti crno-bijela slika s nijansama sive. Da bi se stvorila slika u boji koristi se obojeni filter s pikselima, gdje se svaki piksel sastoji od 3 podpiksela: crvene, zelene i plave boje. Da bi se kontrolirala svjetlina svakog podpiksela, stanica tekućih kristala se pomoću tranzistora uključuje ili isključuje kako bi blokirala ili prenijela svjetlost. Kontrolom svjetlosti koja upada kroz svaki od podpiksela omogućuje se televizoru da stvori sliku s više milijuna boja. Nedostatak ove tehnologije je što se ne može u potpunosti blokirati sva svjetlost tako da uz trajno pozadinsko osvjetljenje uvijek ostane malo svjetlosti što se uočava pri tamnim scenama pretežito crne boje [5].





**Slika 3.6.** – Glavne komponente i princip rada LCD televizora, [12].

Danas se najčešće koriste tri vrste LCD panela (Slika 3.7.) koji se razlikuju prema rasporedu tekućih kristala u strukturi. Prvi se naziva "ispleteni nematični" ili TN (engl. *Twisted Nematic*) te je za njega potreban napon elektrode iznad i ispod LCD panela [13]. Druga se tehnologija naziva IPS (engl. *In Plane Switching*) i koristi 2 elektrode, ali na jednoj strani ploče tako da promjenom napona raspoređuje tekuće kristale u ravnini paralelnoj sa staklenim podlogama. IPS paneli su vrlo česti danas zbog puno boljeg kuta gledanja i vjernijoj reprodukciji boja. TN paneli se također koriste često, ali uglavnom u jeftinijim zaslonima. I dalje su česti u računalnim monitorima kod ljudi koji igraju računalne igre, pa više cijene bržu reakciju slike u odnosu na kvalitetu iste. Treći tip je VA (engl. *Vertical Alignment*) koji je napravljen kao kompromis između TN-a i IPS-a s najboljim kontrastnim omjerom. Ovdje je princip da su tekući kristali prirodno poravnati, ali u okomitom smjeru na staklenu podlogu. U pogledu performansi, najveća razlika je u kutovima gledanja kao što je prikazano na slici 3.7. TN paneli imaju najslabije kutove gledanja, dok su VA i IPS puno bolji s IPS-om koji je najbolji za sve kutove gledanja. U budućnosti bi VA trebao nadmašiti IPS zbog implementacije varijacija kao SVA (eng. *Super-VA*) koji posjeduje vrhunske i najbolje opće performanse.

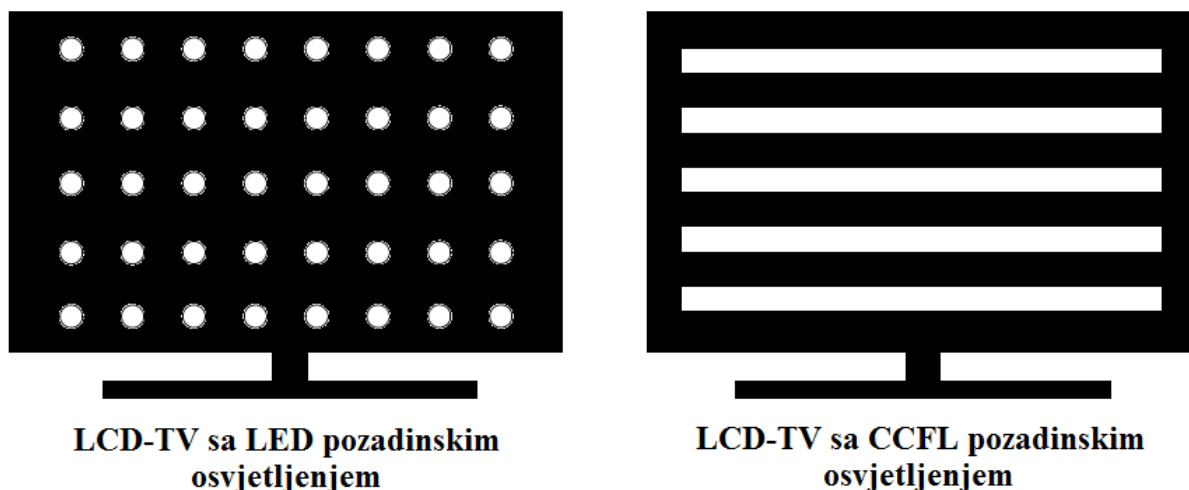


**Slika 3.7.** – Prikaz različitih kutova gledanja na 3 najčešće korištene vrste LCD panela, [13].

### 3.2.2. Pozadinsko osvetljenje

CCFL (engl. *Cold Cathode Fluorescent Lamp*) su fluorescentne lampe s hladnom katodom i tip je pozadinskog osvetljenja koji koristi dva fenomena: pražnjenje elektrona i fluorescenciju. Raspon svjetline i boje ovisi o vrsti i pritisku materijala koji se ubrizgava u staklenu cijev kao i debljine sloja fosfora koji se koristi za premazivanje unutarnje stijenke cijevi kako bi dobili fluorescentni efekt. Danas je stariji, odbačeni sistem pozadinskog osvetljenja zaslona. Svjetlost osvjetljava kristale poprilično ravnomjerno čime negativno utječe na kvalitetu slike, a i deblji je od LED-a.

Potpuno direktno LED pozadinsko osvetljenje (engl. *Full Array Backlighting*) je pozadinsko osvetljenje čitavog niza ili polja, a obuhvaćaju zone LED lampica koje se mogu uključiti i zatamniti u procesu lokalnog zatamnjavanja. Čine veći dio vrhunskih LED televizora na TV tržištu. Karakteristični su za preciznije i ravnomjernije osvetljenje, stvaranje bolje kvalitete slike, a imaju i veću učinkovitost. Princip se bazira na tome što su LED svjetla grupirana u blokovima gdje svaki blok može biti uključen ili isključen neovisno o ostalim blokovima (Slika 3.8.). Smatra se da daje najbolju sliku ikada na televizorima s LCD ekranima [14]. Nedostatak je u primjeru slike koja ima mješavinu svijetlog i tamnog područja, u tim slučajevima šansa je da će neki blok LED lampica obuhvatiti i svijetli i tamni dio, pa će boja "iscuriti" i zamagliti tamni dio. Troši više energije od ostalih LCD televizora te nisu toliko tanki kao modeli s rubnim pozadinskim osvetljenjem.



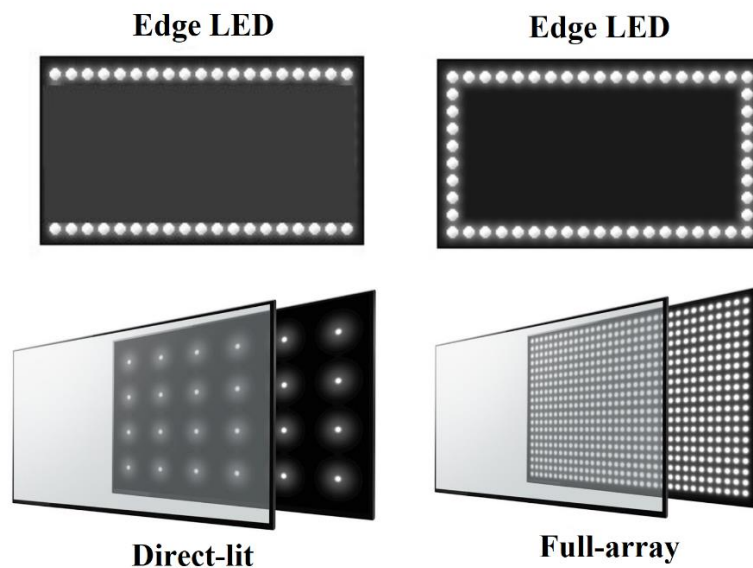
**Slika 3.8.** – Razlika LCD televizora s fluorescentnom lampom i LED pozadinskim osvjetljenjem.

Direktno LED pozadinsko osvjetljenje bez lokalnoga zatamnjenja (engl. *Direct-Lit Backlighting*) je sistem pozadinskog osvjetljenja osmišljen na način da su LED svjetla smještena iza televizora, ali bez mogućnosti zatamnjenja pojedinih dijelova ekrana. Prednost u odnosu na rubno pozadinsko osvjetljenje je u tome što je svjetlost pretežito jednolična preko čitavog ekrana, ali nije uvijek kako bi trebalo biti [14]. Nedostatak u odnosu na potpuno direktni LED je u manjem broju LED lampica koje se koriste. Nemaju prednost lokalnog zatamnjenja, pa stoga nemaju bolji kontrastni omjer u usporedbi s televizorima koji imaju opciju lokalnog zatamnjenja.

Rubno pozadinsko osvjetljenje (engl. *Edge Lighting*) je sistem pozadinskog osvjetljenja koji sadrži LED svjetla isključivo uz rubove zaslona koristeći svjetlosne vodiče za širenje svjetlosti po cijeloj površini zaslona. Jako je tanak, pojedini su širine do 2 inča, troši manje energije, estetski izgledaju fantastično i uobičajeno su jeftiniji od ostalih tipova. Nedostaci su u kvaliteti slike koja zaostaje za klasičnim pozadinskim osvjetljenjem. Često nestabilna u raspršivanju pozadinskog osvjetljenja preko cijelog ekrana što je u normalnim uvjetima neprimjetno, ali gledano u zamračenoj sobi, primjećuje se pri mračnim scenama kako su područja oko rubova svjetlija. Također, uporaba lokalnog zatamnjenja ovdje ne daje nekakvu prednost jer se kontrolirati može samo svjetlo sa strane, što ograničava efekt i kontrolu cijelog ekrana.

Razlika između direktnog pozadinskog osvjetljenja i rubnog osvjetljenja (Slika 3.9.) je u tome što je rubni LED ekstremno tanak, privlačan, lagan za instaliranje i ekonomski prihvatljiviji, ali pod cijenu lošije kvalitete slike. Direktno pozadinsko osvjetljenje ima bolju kvalitetu slike, ali pod

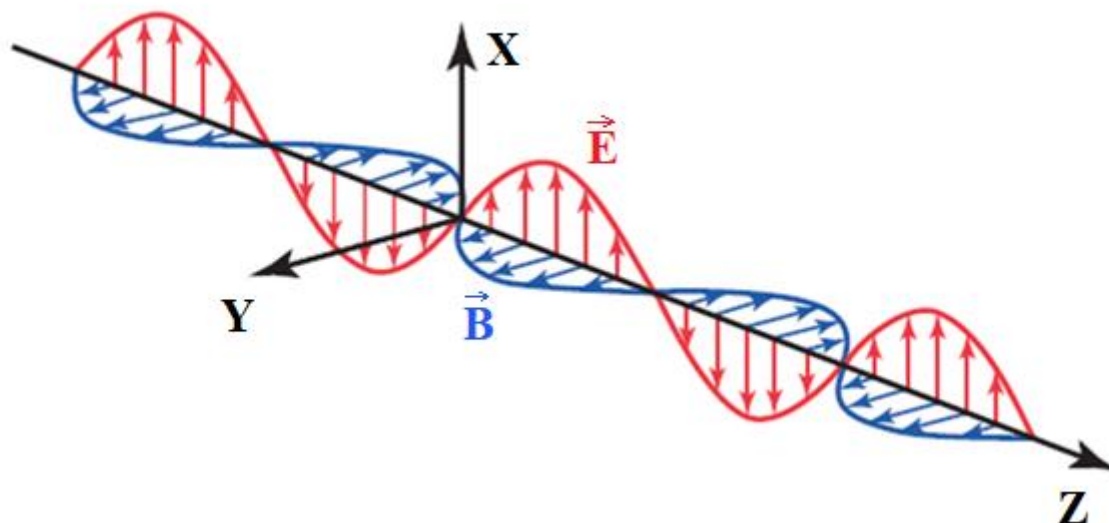
cijenu debljine zaslona te veće potrošnje energije u usporedbi s rubnim osvjetljenjem. Glavni rezultat ovih razlika će na kraju biti cijena za koju će se platiti pojedini model.



**Slika 3.9.** – Razlike LED pozadinskih osvjetljenja s obzirom na postavljanje LED dioda, [14].

### 3.2.3. Polarizatori i polarizacija svjetlosti

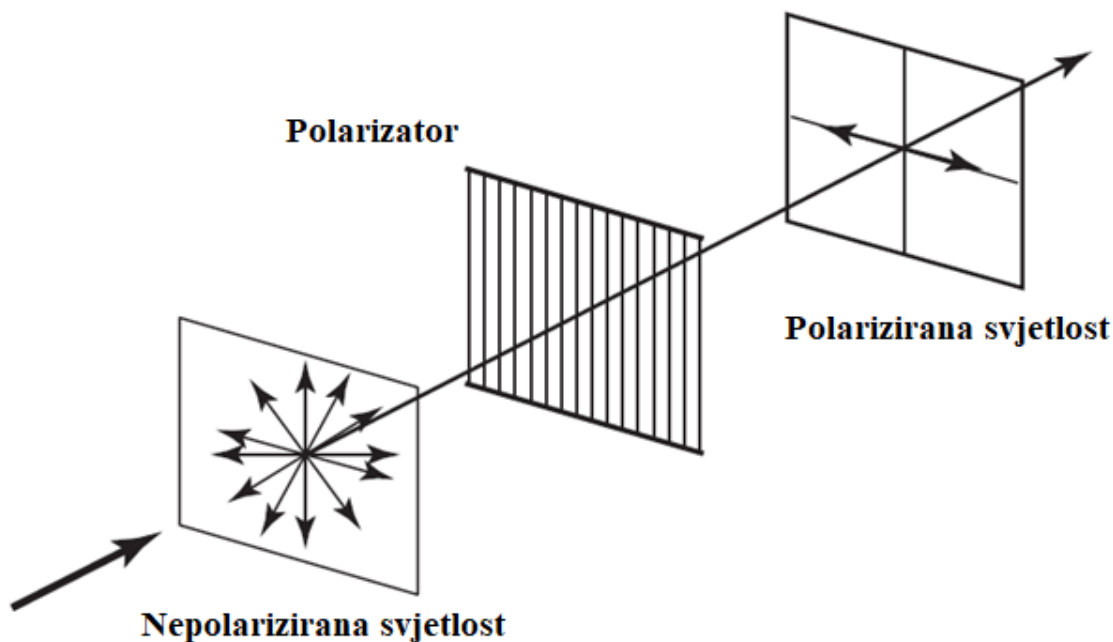
U fizici, svjetlo se smatra kao elektromagnetski val u kombinaciji valova električnog i magnetskog polja koji su uvijek okomiti jedan na drugog i na smjer širenja (Slika 3.10.). U bilo kojoj točki u prostoru i vremenu, električno i magnetsko polje će imati svoje vektore da tvore zajednički elektromagnetski val veće amplitude. Takvi elektromagnetski valovi koji iz Sunca, žarulje ili obične svijeće tvore svjetlost, zapravo uvijek tvore nepolariziranu svjetlost jer od tisuće pojedinih elektromagnetskih valova u zrnu svjetlosti ne budu svi orijentirani u istom smjeru ili se ne poklapaju međusobno sa svojim periodama te se tako, s polarizacijskog gledišta "raštrkani", šire u svojim pravocrtnim pravcima.



**Slika 3.10.** – Prikaz odnosa električnog polja i magnetske indukcije, [15].

Razlikujemo cirkularnu polariziranu svjetlost, kada se svjetlost sastoji od elektromagnetskih valova koji rotiraju u istom smjeru, linearnu polariziranu svjetlost gdje su valovi usklađeni u istom smjeru i nepolarizirane svjetlosti čiji su elektromagnetski valovi orijentirani u različitim smjerovima [15]. Ovdje nastupaju materijali koji blokiraju takve valove te ih propuštaju u samo jednom smjeru, a zovu se polarizatori (Slika 3.11.). Neovisno o tome kakva je svjetlost ušla, iz polarizatora izlazi samo polarizirana svjetlost. Polarizator svjetlosti je potreban kako bi optimizirao osvjetljenje ambijenta u kojem će zaslon raditi. Primarna funkcija mu je da poboljša definiciju i boju svjetla te da tako kontrolira kako se svjetlo prenosi i reflektira. Bez polarizatora prikaz na zaslonu bi bilo nemoguće očitati. Najčešće korišteni tip polarizatora je Nicolova prizma. To je optička naprava za stvaranje linearne polarizirane svjetlosti, a sastoji se od 2 komada kristala islandskog dvolomca zalijepljenih kanadskim balzomom u obliku romboedarske prizme. Islandski dvolomac je ustvari čist i proziran mineral građen od kalcita tj. kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ). Dvolom je pojava za zraku svjetlosti koja se lomi na dvije različite međusobno okomite linearno polarizirane zrake, ekstraordinarnu i potpuno polariziranu ordinarnu zraku, prolazeći kroz anizotropno sredstvo. U LCD televizorima se najčešće koriste dva polarizatorska filtra, jedan vertikalni, a drugi horizontalni. U takvoj postavi svjetlost ne može nikako proći jer su jedan na drugog okomiti, pa će apsorbirati svu svjetlost. Iz tog razloga se koriste kombinacije s tekućim kristalima. U slučaju da su dva polarizatora postavljena pod jednakim kutom onda drugi polarizator nazivamo analizator za utvrđivanje polariziranosti.



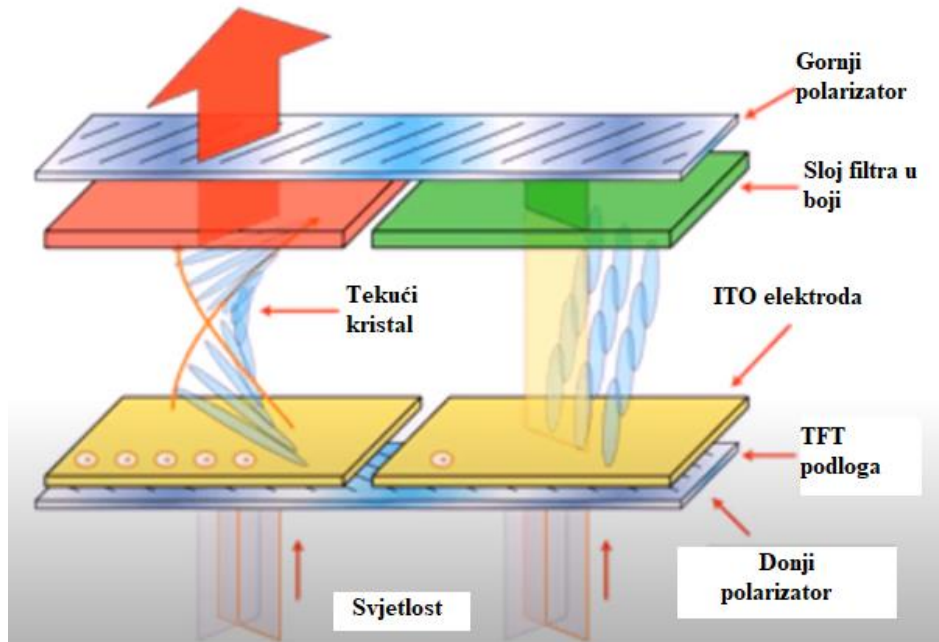


**Slika 3.11.** – Prikaz polarizatora u funkciji propuštanja elektromagnetskog vala svjetlosti u samo jednom smjeru, [15].

### 3.2.4. Elektrode i TFT

TFT (engl. *Thin Film Transistor*) je posebna vrsta tranzistora koja određuje kada će i koliko osvijetliti svaki individualni podpiksel propuštanjem određene razine intenziteta svjetlosti koristeći napon i elektrode (Slika 3.12.). Zasloni u boji se koriste nestvarnim brojem tranzistora budući da je svaki tranzistor urezan na svoj podpiksel. Elektrode imaju zadatak kontrolirati molekule tekućeg kristala uporabom električne struje kako bi time upravljali količinom svjetlosti koja će proći kroz drugi polarizatorski filtar. Elektrode su u prošlosti bile građene od amorfno silicija, no danas radi smanjenja *crosstalk*-a (kada napon jednog piksela ometa napon drugog piksela), bržeg odziva te stabiliziranja slike, one su načinjene od indij kositrenog oksida (engl. ITO) uz ljepljivu materiju. Indij kositreni oksid je jedan od najčešće korištenih prozirnih oksida zbog svojih svojstava električne vodljivosti i optičke prozirnosti kao i lakoća dobivanja u obliku tankog filma. Dakle površina gdje su postavljene elektrode je prozirna, a u doticaju s tekućim kristalima je obrađena tako da molekule tekućih kristala budu orijentirane u točno 90 stupnjeva, budući da tekući kristali nisu striktno formirani u točno 90 stupnjeva. Najčešće se nanosi polimer tanjeg sloja trljanjem u željenom smjeru orijentacije tekućih kristala. Kako su tekući kristali nematičnog tipa, oni zakreću svjetlo za 90 stupnjeva te ga propuštaju kroz drugi polarizatorski filtar. Primjenom električne struje molekule kristala se postavljaju vertikalno na drugi

polarizatorski filtar čime gube svoj spiralni oblik, pa se svjetlo na drugom polarizatoru apsorbira te za rezultat na ekranu dobivamo crnu boju. Posljednji obojeni filtar s RGB pikselima, daje konačnu boju te sliku na zaslonu kojeg gledamo [16].

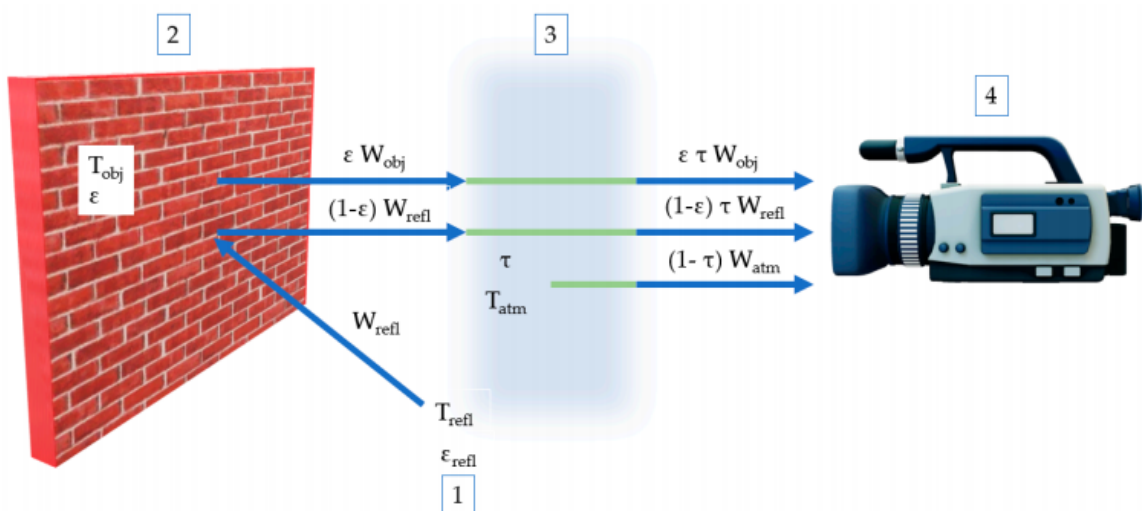


**Slika 3.12.** – Prikaz zadaće tranzistora u funkciji LCD televizora, [17].

U pogledu tranzistora dolazi se i do pojma adresiranja piksela. Ovdje se razlikuju pasivna i aktivna matrica kao dvije mogućnosti adresiranja. Pasivna je stariji sustav s brojnim nedostacima počevši od nemogućnosti bolje rezolucije, bržeg odziva i kontrole nad pojedinim pikselima, pa do većeg *crosstalk*-a. Razvijanjem tehnologija dolazi se do početka uporabe aktivne matrice koja nema problema s brojem operacija u jednom radnom ciklusu kao ni *crosstalk*-u zahvaljujući pojedinačnom adresiranju piksela uz pomoć ugrađenih tranzistora i kondenzatora. Zadatak tranzistora je da uključuje i isključuje pojedine piksele, a kondenzatora da posprema signal za svaki pojedini piksel. Pogodnosti su brzo uključivanje tranzistora, veoma tanak model, a uz to mu je i dovoljan nizak napon za rad čime štedi energiju te smanjuje zagrijavanje i *crosstalk* [16].

## 4. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA LCD TELEVIZORA

Infracrvena termografija (IRT) je metoda koja otkriva infracrvene valove koji se emitiraju iz objekta, pretvara ih u temperaturu i prikazuje sliku temperaturne raspodjele. Koristi se za detekciju bilo kakvih anomalija i nepravilnosti koje mogu dovesti do oštećenja jedinice pozadinskog osvjetljenja, a koje tada još nisu uočljive u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra. Metoda vrijedi za sva zračenja koja se nalaze na temperaturi iznad apsolutne nule. Svi objekti emitiraju energiju u obliku elektromagnetskih valova. Za električnu i mehaničku opremu, prosječna temperaturna područja zračene topline su unutar infracrvenog elektromagnetskog spektra – spektra koji je nevidljiv golom ljudskom oku. Infracrvena termalna kamera registrira zračenje topline objekta u infracrvenom spektru te ga zatim prikazuje kao toplinski uzorak u vidljivom dijelu spektra [20]. Ovaj uzorak topline prikazuje temperaturne razlike na površini objekta. Analizom toplinskog uzorka se može spriječiti katastrofalni kvar pravovremenom identifikacijom oštećene komponente, ali samo ako je poznata fizikalna teorija analiziranog sustava. Infracrvena termografija se smatra učinkovitijom metodom od fotometrije jer je dio zračene topline iz LED dioda mnogo veći unutar infracrvenog spektra od dijela emitiranog zračenja u vidljivom spektru. Princip mjerenja infracrvenom kamerom simbolično je prikazan na slici 4.1., gdje brojčane oznake sugeriraju: 1 – okruženje, 2 – površina, 3 – ambijent, 4 – infracrvena kamera, a fizikalne veličine znače:  $W$  – energiju,  $\varepsilon$  – površinsku emisivnost,  $\tau$  – propusnost atmosfere,  $T$  – temperaturu.

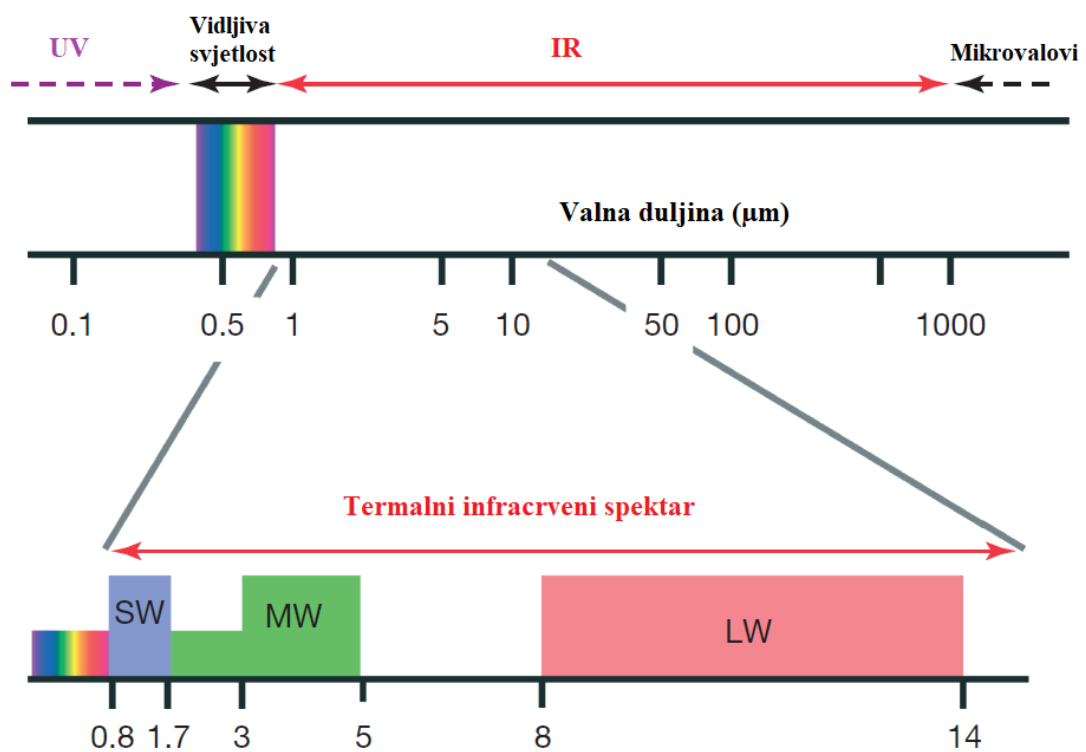


Slika 4.1. – Ilustracija mjerenja infracrvenom termografijom, [21].



Oprema infracrvene termografije snima temperaturnu raspodjelu na površini i prikazuje ju kao vidljivu informaciju. Temperatura se može mjeriti iz daljine bez kontakta s površinom snimanog objekta i mjeri se u stvarnom vremenu. Usporedba površinske temperaturne raspodjele se može izvršiti na širokom području, a temperatura se efikasno može izmjeriti za objekt koji je u pokretu ili mu je opasno prići. Precizno mjerenje temperature za male objekte kao i za objekte koji drastično mijenjaju temperaturu u kratkom vremenskom periodu su jedne od brojnih prednosti ove metode.

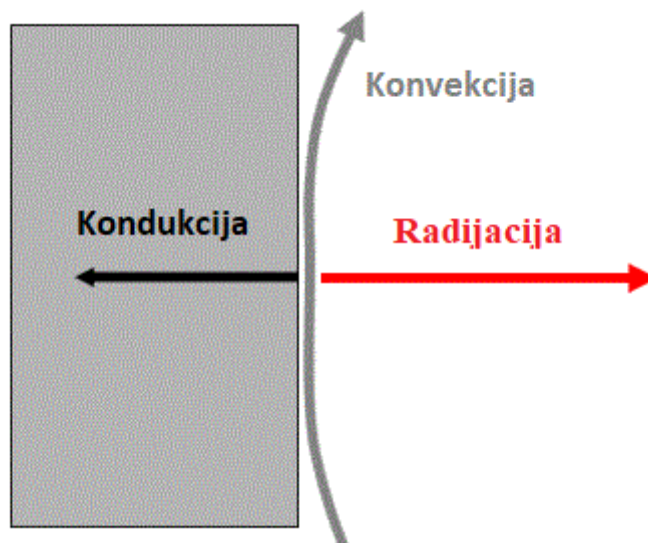
Infracrveno svjetlo je elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama duljim od vidljivog svjetla. Infracrvene valne duljine sežu od nominalnog ruba crvene boje vidljive svjetlosti na 700 nm do 1 mm (Slika 4.2.). Otkrio ga je britanski astronom William Herschel 1800. godine. Prilikom raspršivanja sunčeve svjetlosti pomoću prizme je ustanovio da postoji nevidljiva svjetlost na vanjskoj strani crvene svjetlosti kada povećava temperaturu nekog predmeta [22].



**Slika 4.2.** – Prikaz infracrvenih i susjednih spektralnih područja te prošireni pogled na termalni infracrveni spektar, [15].

## 4.1. Infracrvena kamera i princip rada

Postoje 3 vrste prijenosa topline: kondukcija, konvekcija i radijacija (Slika 4.3.). Kondukcija ili vođenje topline je prijelaz topline između dva objekta koja su u dodiru. Konvekcija ili strujanje topline je prijenos topline zagrijanim dijelom plina ili tekućine gdje se topliji fluid giba prema hladnijem. Radijacija ili toplinsko zračenje je vrsta prijenosa topline koja se odvija putem elektromagnetskog zračenja te kod koje se toplina prenosi direktno s površine objekta kao infracrvena radijacija [21].



**Slika 4.3.** - Vrste prijenosa topline, [23].

Infracrveni termalni pregled se provodi s infracrvenom termalnom kamerom. Infracrvene kamere su postale široko dostupne na tržištu od 2014. godine, a danas ih se mogu naći i integrirane u uređajima za mjerenje električnih veličina i pametnim mobitelima. Infracrvena kamera detektira infracrvenu radijaciju, dok softverska podrška za kameru povezuje temperaturne vrijednosti s količinom zabilježene radijacije. FLIR Tools je jedan od pogodnijih programa za termografsku analizu. Rezultati dobiveni analizom se postavljaju na dvije decimale radi smanjenja računske pogreške [21].

Infracrvena kamera je uređaj koji kreira sliku koristeći infracrvenu radijaciju. Za razliku od obične kamere za detekciju vidljivog svjetla koja se nalazi u spektru valne duljine od 380 do 740 nm, infracrvena kamera je osjetljiva na valne duljine od 1 do 14  $\mu\text{m}$ . Slike infracrvenih kamera su monokromatske jer kamera koristi senzor za sliku koji ne razlikuje valne duljine. Senzor za slike u bojama zahtijeva kompleksnu konstrukciju kako bi razlikovao valne duljine, stoga te monokromatske slike koriste pseudo-boju, gdje se promjene u bojama jednostavnije koriste za prikaz promjena u signalu. Ta je tehnika korisna jer ljudi imaju slabiju sposobnost uočavanja razlika intenziteta na svjetlijim područjima. Velika razlika u odnosu na optičke kamere je ta što u infracrvenoj kameri leće za fokus ne smiju biti napravljene od stakla jer staklo blokira dugovalno infracrveno svjetlo [22].

Uobičajeno je da su područja snimanog objekta s najvišom temperaturom na snimci prikazani bijelom bojom, srednje temperature žutom i crvenom, a najniže temperature crnom. Pored pseudo-obojujane slike prikazana je ljestvica koja povezuje boje s njenim temperaturama. Njihova rezolucija je znatno niža nego kod optičkih kamera, najčešće 160x120 ili 320x240 piksela, iako puno skuplje kamere mogu postići rezoluciju i do 1280x1024 px. Prema primjeru sa slike 4.4., gleda se model infracrvene kamere rezolucije 320x240 px koja vrijedi 5000 \$ USD [24]. Infracrvene kamere se razlikuju po spektru valnih duljina koje obuhvaćaju, a dijele se na kratkovalne (SWIR) od 0.9 do 1.7  $\mu\text{m}$ , srednjevalne (MWIR) od 3 do 5  $\mu\text{m}$  i dugovalne (LWIR) od 8 do 14  $\mu\text{m}$ . Srednjevalne infracrvene kamere imaju duplo bolji kontrast, ali dugovalna je najčešće korištena jer je utjecaj Sunca unutar njegovog operativnog područja najslabiji, pa se stoga kamera bez problema može koristiti i danju. Osim toga, atmosfera u dugovalnom području ima do 25 % manje infracrvenog zračenja u usporedbi sa srednjevalnim.



**Slika 4.4.** – Infracrvena termalna kamera za dobivanje termalne slike, model FLIR E60, [24].

Uređaji dugovalne infracrvene kamere se razlikuju po hlađenim i nehlađenim infracrvenim detektorima [22]. Nehlađeni koristi toplinski senzor s otpornikom u svakom pikselu, pa se vrijednost otpora mijenja u ovisnosti o upadnoj infracrvenoj radijaciji koja zagrijava strukturu otpornika. Promjena u otporu svakog piksela se zatim mjeri i obrađuje, pa se koristi za stvaranje slike. Mikrobolometar je specifična vrsta bolometra, odnosno uređaja za mjerenje snage upadne elektromagnetske radijacije zagrijavanjem materijala s električnim otporom ovisnim o temperaturi, a koristi se kao detektor u termalnoj kameri i optimiziran je za najbolju osjetljivost valnih duljina od 8 do 14  $\mu\text{m}$ . Hlađeni detektor upotrebljava foto-detektor koji koristi poluvodič za pretvaranje fotona u elektrone. Takav detektor mora biti hlađen na temperaturi od 77 K ili manje, a osjetljivi su na valne duljine od 7 do 12  $\mu\text{m}$ .

## 4.2. Moguće smetnje tijekom mjerenja

Temperaturne vrijednosti će se pogrešno odrediti ako se ne uzmu u obzir načini izvedbe mjerenja u pogledu područja koji se mjeri, vanjskih utjecaja na mjereni objekt i efikasnost emisivnosti.

Prema slici 4.5. se zaključuje da se pomicanjem infracrvene kamere bliže objektu smanjuje područje koje će se izmjeriti. Kada je infracrvena kamera opremljena laserom, laser ukazuje na centralnu točku područja koji se mjeri, a ne na žarišnu točku mjerenja [25]. Mjerenje se treba obaviti što je bliže moguće te je pritom poželjno da mjereni objekt u potpunosti popunjava vidno polje koje ima određena kamera. Prilikom mjerenja na preciznost mjerenja mogu utjecati vanjski čimbenici kao što su prašina, dim, para i svjetlo koje se može reflektirati iz potencijalnog izvora radijacije u okolini.



**Slika 4.5.** – Omjer udaljenosti između mjernog instrumenta i mjerenoj objekta, [25].

#### 4.2.1. Emisivnost

Većina objekata oko nas emitiraju infracrveno svjetlo zato što nisu dovoljno vrući da emitiraju vidljivo svjetlo. Ipak, iako nisu dovoljno vrući svejedno mogu imati vrlo visoku temperaturu u pogledu živog bića, pa se neki predmeti naizgled čine da imaju normalnu temperaturu, a zapravo su jako vrući. Jedan od glavnih svojstava koji može zavarati ljudsko oko u pogledu topline je upravo emisivnost. Emisivnost je svojstvo koje se odnosi na kako dobro materijal zrači infracrvenu energiju u usporedbi sa savršenim materijalom (crnim tijelom) na istoj temperaturi [25]. Crna tijela su objekti koji su savršeni u apsorpiranju i emitiranju elektromagnetskog zračenja jer imaju puno elektrona, puno kompleksnih molekula i lanaca molekula što pogoduje lakšem vibriranju i rotiranju sa mnogo različitih frekvencija. Rezultat je da svaka frekvencija ili valna duljina može biti apsorpirana. Vrijednosti emisivnosti se kreću od 0 do 1. Za vrijednost emisivnosti 0 se smatra savršeni reflektor ili ogledalo, dok se za 1 smatra savršeno mat crno tijelo. Za primjer, sjajni srebrni metal bi predstavljao oko 0.1 vrijednost, dok ljudska koža ima odličnu emisivnost u iznosu, otprilike 0.98. Pogreška u preciznosti određivanja emisivnosti mjerene vrijednosti može biti i do 30 % odstupanja stvarne vrijednosti. Vrijednost emisivnosti se ipak više odnosi na tip materijala nego na boju. Emisivnost je nužna jer u pogledu topline ljudsko oko ne vidi onako kako jest. Dakle, laički rečeno, što je viša vrijednost emisivnosti tome se može više vjerovati što se vidi, a što je niža to manje.

Intenzitet zračenja definiran je Stefan-Boltzmannovim zakonom

$$I = e \sigma T^4 \quad , \quad (4-1)$$

gdje je:  $I$  – intenzitet emitiranja,  $e$  – stupanj emisije,  $\sigma$  – konstanta proporcionalnosti,  $T$  – termodinamička temperatura. Emisivnost je definirana kao

$$e = \frac{I_{\text{objekt}}}{I_{\text{savršeno crno tijelo}}} \quad , \quad (4-2)$$

gdje je:  $e$  – stupanj emisije,  $I_{\text{objekt}}$  – intenzitet objekta,  $I_{\text{savršeno crno tijelo}}$  – intenzitet savršenog crnog tijela = 1.

### 4.3. LCD kvarovi

Kvarovi slike uzrokovani su toplinom na razini jedinice pozadinskog osvjetljenja. Ulazna električna energija većinom se pretvara u toplinu, a manji dio se troši kako bi se zaslon osvijetlio. „Izgubljena“ toplina smanjuje vijek trajanja električnih komponenata te utječe na optičke folije u zaslonu. Unutar jedinice nalaze se slojevi polimera koji daju konačnu sliku, a različitog su koeficijenta termalne ekspanzije. Pregrijane diode uzrokuju toplinsko širenje polimera što rezultira iskrivljenom slikom. Polimeri su kruti ispod 70 °C, a sustav hlađenja LED spoja je ugrađen u krug jedinice pozadinskog osvjetljenja kako bi se jedinica održala u granicama normalne radne temperature. Ipak, tanak dizajn svih jedinica ograničava unutarnji protok zraka i učinkovitiju upotrebu hladnjaka, pa je hlađenje pretežno samo vanjskim površinama.

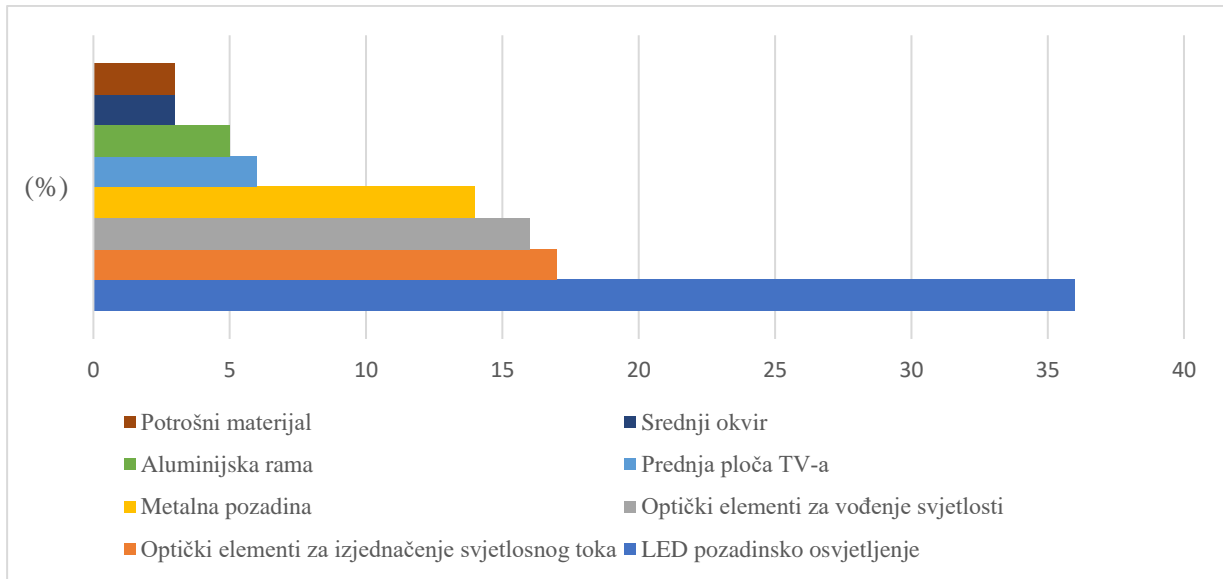
U posjetu TV serviserima naišao sam na stručnu osobu u TV servisu Simjanovski gdje je pobliže objašnjen sve češći kvar današnjih LCD televizora te potražnja servisa za oko 3 godine od kupovine, a za glavni razlog tomu se navodi smanjenje pozadinskog osvjetljenja na postavkama televizora. Televizoru se u radu na 100 % pozadinskog osvjetljenja onemogućava potreban period hlađenja programiran za svaku LED lampicu čime se sprječava daljnja šteta. Spuštanjem razine osvjetljenja na 80 % bitno se dobiva na faktoru dugovječnosti i time produljuje vijek trajanja za nekoliko godina.

Najčešće prijavljivani problemi vezani uz LCD jedinicu su kvarovi pozadinskog osvjetljenja, a klasificiraju se ili kao katastrofalni kvarovi ili kvarovi zbog istrošenosti. Dođe li do katastrofalnog kvara, komponente se ne isplati mijenjati jer su troškovi i vrijeme zamjene veliki. Relativni troškovi komponenata prikazani su na slici 4.6. [16]. Zamjena LED pozadinskog osvjetljenja najskuplja je komponenta pa time i neisplativa za popravak.

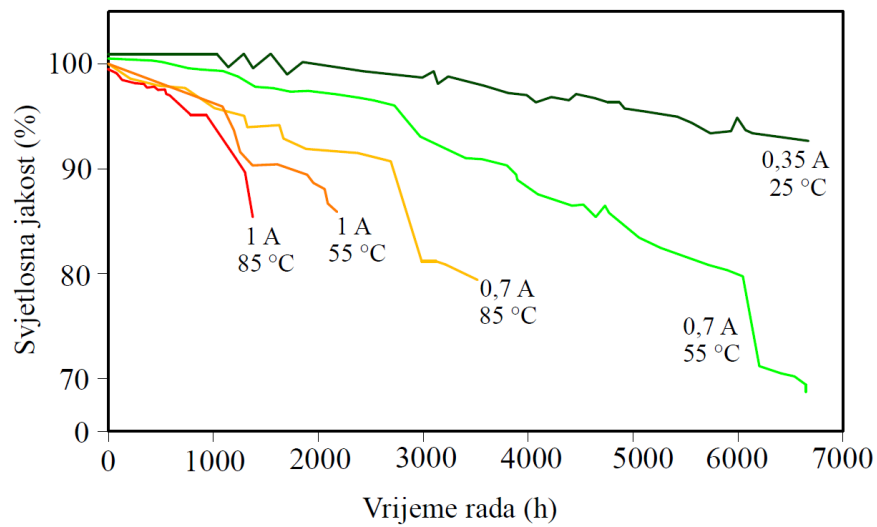
Prevenција kvara pozadinskog osvjetljenja je smanjenje svjetline zaslona, što smanjuje radnu temperaturu jedinice pozadinskog osvjetljenja i produljuje očekivani životni vijek trajanja električnih komponenata i dioda.

Za pravilno funkcioniranje LED dioda, potrebno je regulirati radnu temperaturu [27]. Na slici 4.7. zamjećuje se kako smanjenje radne temperature za 30 °C udvostručuje radno vrijeme jedinice pozadinskog osvjetljenja. Termalnim pregledom pomoću infracrvene kamere može se podesiti potrebna radna temperatura ili detektirati problem trošenja prije nego što se ukaže oku gledatelja.

Preporučuje se da radna temperatura LCD televizora bude u rasponu od 10 °C do 40 °C, a dok je u skladištu između -20 °C i 45 °C.



**Slika 4.6.** – Dijagram vrijednosti komponenata LCD televizora, [16].



**Slika 4.7.** – Ovisnost svjetlosne jakosti o vremenu starenja, [27].

## 4.4. Infracrveno termalno ispitivanje

Energetska bilanca procesa potrošnje televizora ukazuje da se najveći dio energije izravno pretvara u toplinu. Time se ideja o korištenju toplinskog toka kao osnove za ispitivanje unutarnjih dijelova dovela do upotrebe infracrvene termografije kao osnovne metode neinvazivnog ispitivanja stanja električnih uređaja.

Infracrvena termografija pripada skupini metoda kontrole bez razaranja (engl. NDT – *Nondestructive Method*), a koja predstavlja skup metoda s ciljem utvrđivanja svojstava te otkrivanja grešaka, a da time ne prouzroči štetu i ne utječe na funkcionalnost ispitivanog materijala [27].

Fizikalna pozadina principa rada termalne kamere je slijedeća: objekti na Zemlji neprestano emitiraju zračenje u infracrvenom spektru, dok se zračenje u vidljivom dijelu spektra javlja samo ako temperatura premašuje 525 °C. Posljedično, interval valnih duljina koje registrira ljudsko oko je znatno uži u odnosu na dugovalni infracrveni (engl. LWIR – *Long Wave Infrared*) interval od 8 do 14 μm koje detektiraju većina današnjih infracrvenih termalnih kamera. LED diode odvede značajan dio topline u obliku infracrvenog zračenja. Toplinski tok proizveden unutar jedinice pozadinskog osvjetljenja u kombinaciji s proizvedenom toplinom drugih električnih komponenata i tiskane pločice, teče prema vanjskim površinama televizora. Porast temperature LED spoja smanjuje napon te posljedično smanjuje i izlaz lumena. Tipična bijela LED dioda će proizvesti tek malu frakciju vidljive svjetlosti, dok su sve ostalo otporni, optički i drugi neradijacijski gubici u obliku topline, kako je prikazano Sankeyevim dijagramom (Slika 4.8.) [27].

Fotometrijski testovi koji se temelje na percepciji vidljive svjetlosti ljudskog oka obično se koriste za ispitivanje izvora svjetlosti, ali zbog konačnog udjela topline zračene iz LED pozadinskog osvjetljenja u odnosu na vidljivu svjetlost koju proizvodi, toplinsko se ispitivanje smatra mnogo pouzdanijom opcijom ispitivanja [27]. Zračena toplina iz jedinice pozadinskog osvjetljenja, prikazana na slici 4.8., pripada infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra koji se može otkriti infracrvenom kamerom.





**Slika 4.8.** – Sankey dijagram energetske učinkovitosti bijele LED diode, [27].

#### 4.5. Analiza testiranja

Cilj analize testiranja LED LCD televizora infracrvenom termalnom kamerom je pronalazak potencijalnih žarišnih točaka koje uzrokuju veće temperature preopterećenjem LED dioda, a zbog preventive težeg kvara jedinice pozadinskog osvjetljenja. Također, prelazilo se preko televizora s ciljem analize toplinskog zračenja kako bi se ustanovila vrsta pozadinskog osvjetljenja te njegov trenutni status. Pravovremenim uočavanjem nepravilnosti mogu se spriječiti neplanirana isključenja i širenja štete te time znatno smanjiti troškove popravka.

Infracrvena termografska analiza različitih LCD televizora izvodila se dana 4.9.2020. na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Mjerenja su se izvodila s infracrvenom termalnom kamerom FLIR E60 (Slika 4.4.) rezolucije 240x340 px s toplinskom osjetljivošću 0.05 °C i temperaturnim rasponom od -20 do 650 °C. Prije mjerenja se podesila emisivnost na 0.95 za sve monitore. Namještene su i 3 točke za uspoređivanje izmjerenih temperaturnih raspodjela čije vrijednosti po bojama možemo uočiti na slikama uz rub desne strane.

Kronološki rezultati mjerenja infracrvenom kamerom su kako slijedi – na slici 4.9. uočava se ravnomjernija raspodjela topline. Temperature u tri različite točke su gotovo identičnog iznosa što sugerira na ispravnu funkcionalnost pozadinskog osvjetljenja. Radi točkastih temperaturnih povećanja na rubovima ekrana može se zaključiti da je riječ o televizoru s rubnim pozadinskim osvjetljenjem.



**Slika 4.9.** – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje.

Slika 4.10. prikazuje isključeni televizor, pa se time u infracrvenom spektru prikazuje homogena raspodjela. Tip pozadinskog osvjetljenja se na temelju slike isključenog televizora ne može zaključiti. Iako je isključen, kamera očitava vrijednost temperature zaslona oko 25 °C, međutim, sa sigurnošću se ne može reći referira li se navedena temperatura na utjecaj emisivnosti ili činjenicu da je televizor bio uključen nedugo prije ispitivanja.



**Slika 4.10.** – Prikaz isključenog LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru.

Prema slici 4.11. zaključuje se da ispitivani televizor koristi direktno pozadinsko osvjetljenje zbog homogenosti i većih temperatura prema sredini ekrana. Zamjećuje se povećana temperatura u najvećem iznosu od 47,7 °C što je puno veći iznos u usporedbi s ostalim ekranima.



**Slika 4.11.** – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – direktno pozadinsko osvjetljenje.

Slika 4.12. predstavlja televizor s rubnim pozadinskim osvjetljenjem i prikazuje drastično odstupanje u temperaturnoj raspodjeli površine ekrana s razlikom od 10 °C u odnosu lijevog i desnog ruba. Ovaj televizor bi trebalo detaljnije provjeriti te popraviti nepravilnosti kako bi spriječili puno veći kvar. Elementi televizora su osjetljivi na temperaturu, a temperatura određuje životni vijek istih.



**Slika 4.12.** – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje.

Slika 4.13. prikazuje televizor s rubnim pozadinskim osvjetljenjem te se primjećuju blage žarišne točke na nekoliko područja zaslona.



**Slika 4.13.** – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje.

Slika 4.14. prikazuje refleksiju osobe koja provodi mjerenje u trenutku snimanja. Važno je istaknuti ulogu emisivnosti u termografskim ispitivanjima jer može dati krive rezultate ako se ista ne uzme u obzir. Analiza nije rađena u savršenim uvjetima i stoga može prikazivati odstupanja od stvarnog rezultata mjerenja radi utjecaja vanjske okoline.



**Slika 4.14.** – Prikaz isključenog LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru.

## 5. FOTOMETRIJA LCD TELEVIZORA

### 5.1. Fotometrija

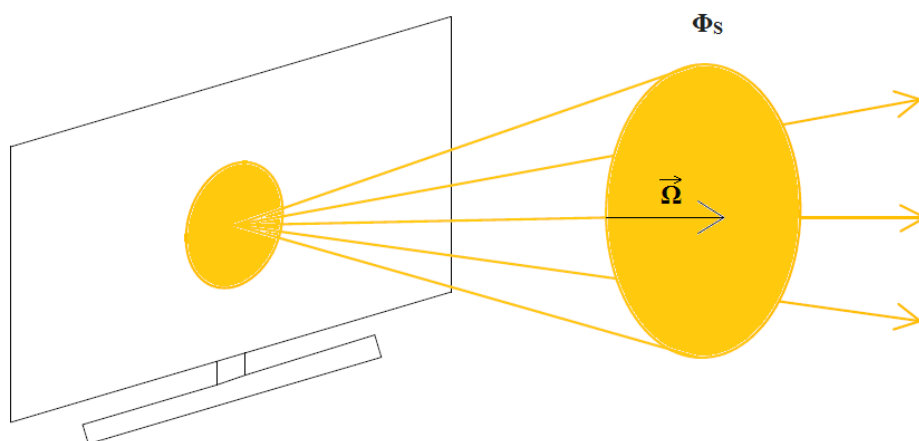
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje može biti detektirano ljudskim okom [39]. Definicija pak ima različite verzije jer se do danas iznose čvrsti argumenti da je svjetlost samo val, dok se s druge strane istodobno sugerira da svjetlost dolazi u diskretnim kvantima koje nazivamo fotonima [40]. Radiometrija je područje fizike koje se bavi opisom i mjerenjem elektromagnetskog zračenja. To je sistem koji se koristi za opis i mjerenje širenja elektromagnetskog zračenja uključujući efekte na to zračenje kao što su refleksija, lom, apsorpcija, prijenos i raspršivanje materijalnih tvari u svojim krutim, tekućim i plinovitim agregatnim stanjima. Posebna grana radiometrije je fotometrija, koja je orijentirana na elektromagnetsko zračenje detektabilno ljudskom oku, tj. na dio elektromagnetskog spektra u rasponu od približno 380 do 740 nm. U tablici 5.1. prikazane su radiometrijske i analogne fotometrijske veličine.

Proces zapažanja započinje s ljudskim okom koji dolaznu svjetlost registrira kao ulaz putem organskih senzora koji odmah pretvaraju fotone u neuronske signale. Optički živci te signale šalju u vidni korteks gdje se obrađuje kako bi se stvorila razlika u boji, kontrastu, dubini i svjetlini.

Intenzitet svjetlosti, osvjetljenje i luminacija su veličine koje različito izražavaju gustoću svjetlosnog toka. Svjetlosni intenzitet se definira kao svjetlosni tok po prostornom kutu. Njegova odgovarajuća mjerna jedinica, kandela, jedna je od osnovnih jedinica S.I. sustava. Osvjetljenje je svjetlosni tok po jedinici površine, a koristi se između ostalog kao mjera potrebne razine osvjetljenja radnog područja i njegove okoline. Najvažnija fotometrijska karakteristika zaslona je njegova luminacija (sjajnost) jer je jedina fotometrijska mjera koja je izravno povezana s mrežnicom, pa je stoga najuže povezana s ljudskom vizualnom percepcijom svjetline [41]. Luminacija je definirana kao objektivna mjera koliko se svjetlosti reflektira od ekrana do promatrača [35]. Luminaciju je moguće izmjeriti u bilo kojoj točki i na bilo kojoj površini kroz koju prolazi svjetlosni tok (Slika 5.1.). Zbog toga je prepoznata kao važan čimbenik vizualne udobnosti.

**Tablica 5.1.** – Radiometrijske i fotometrijske veličine te mjerne jedinice.

<b>Radiometrijska veličina</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Fotometrijska veličina</b>	<b>Jedinica</b>
Tok zračenja, $\phi$	W (vat)	Svjetlosni tok, $\phi_s$	lm (lumen)
Ozračenost, $L$	W/sr m <sup>2</sup>	Luminacija, $L_s$	cd/m <sup>2</sup>
Iradijancija, $E$	W/m <sup>2</sup>	Osvjetljenje, $E_s$	lx (lux)
Radijacijski intenzitet, $I$	W/sr	Intenzitet svjetlosti, $I_s$	cd (kandela)



**Slika 5.1.** – Prikaz emitiranja svjetlosti zaslona.

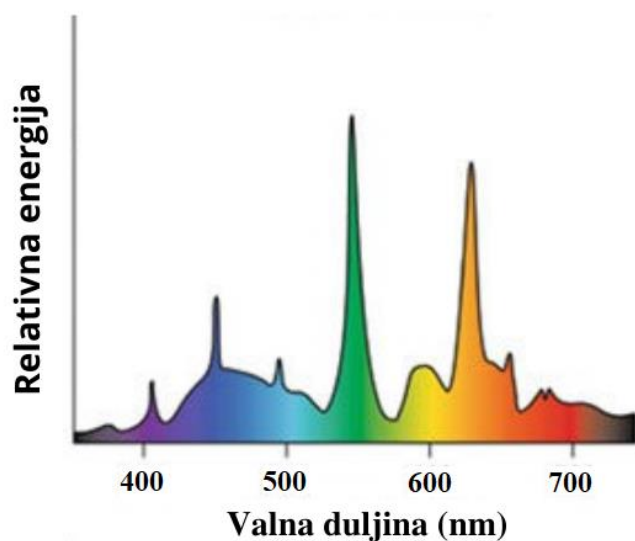
## 5.2. Praktična provedba fotometrijskog ispitivanja televizora

Fotometrijska ispitivanja obično uključuju mjerenja spektra luminacije ili osvjetljenja za slijed punog područja bijele, crvene, zelene i plave slike.

Svjetlina se svrstava u značajke zaslona, ali ona ovisi o individualnim reakcijama promatrača i uvjetima gledanja. Luminacija i svjetlina bitno se razlikuju. Luminacija je fizikalna veličina koja može biti izmjerena, dok je svjetlina osjećaj promatrača kojim je svjestan razlike u osvjetljenju. Luminacija zaslona će se posljedično odrediti iz fizikalnih svojstava tekućih kristala, optičkih folija te konfiguracija jedinice pozadinskog osvjetljenja.

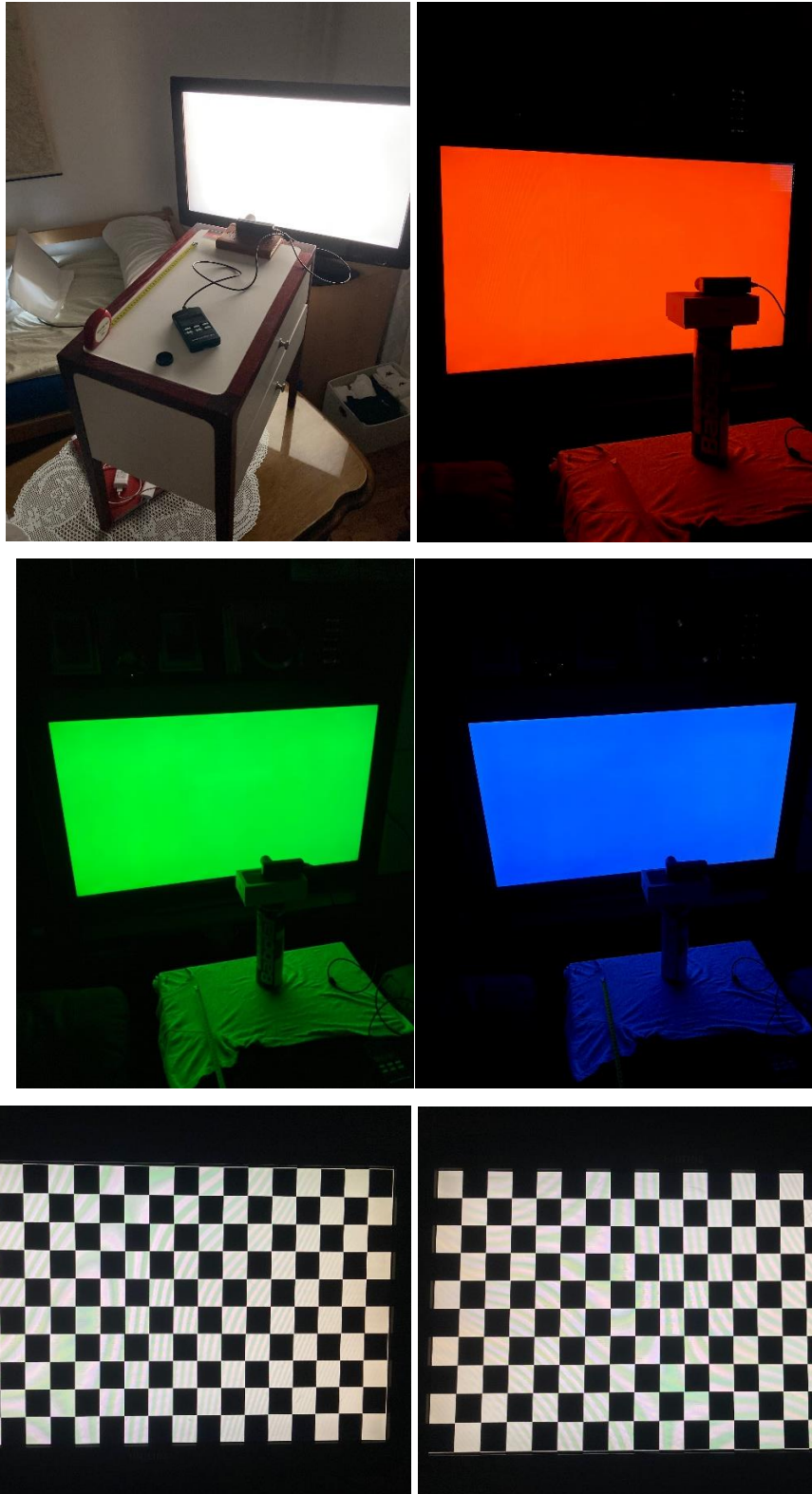
Ljudsko oko ne procjenjuje vjerodostojno fotometrijske veličine jer se brzo prilagođava te posljedično ima nelinearni odziv na svjetlosne podražaje (Slika 5.2.). Stoga se koriste tehnike mjerenja koje preciznije opisuju vidljivi dio spektra. Kako bi se fotometrijske veličine izmjerile preciznije, zahtijeva se pozadinska teorija istih te znanje o specifikacijama mjerenih aparata.

Za potrebe ovoga rada luminacija ekrana je snimljena i analizirana. Kalibracija instrumenata je isključena iz analize. Rezultati fotometrijskog ispitivanja mjerenjem u jednoj točki, dobiveni bilo kojim mjernim instrumentom, mogu zavarati. Razlog tomu je svjetlosna efikasnost i spektralno nametnute učinkovitosti bijelog svjetla. Zbog toga su se mjerenja provela u jednoj točki te u 200 različitih točaka slike. Za mjerenje luminacije LCD-a i njegovih pojedinačnih RGB kanala Bayerovog filtra, pripremljene su testne slike (Slika 5.3.).



**Slika 5.2.** – Tipične vrijednosti spektralne osvjetljenosti za LCD zaslon, [34].





**Slika 5.3.** – Snimka eksperimentalnog postava i korištenih testnih slika neposredno prije fotometrijskog mjerenja.



Mjerenja su izvedena pomoću uređaja Gossen Mavolux 5032C s adapterom za luminaciju, koji ima opseg mjerenja u rasponu od 0.1 cd/m<sup>2</sup> do 1 999 000 cd/m<sup>2</sup> s prihvatnim kutom od 20 stupnjeva i točnost od ± 3 % izmjerene vrijednosti ± 1 znamenka. Luminacija se mjeri u kandelama po kvadratnom metru (cd/m<sup>2</sup>) ili u *footlambert*-ima (fL). Senzor unutar aparata je silicijeva fotodioda sa V (λ) filtrom i ukupnom pogreškom manjom od 7.5 %. Luksmetar je kalibriran na luminaciju, a ne na boju svjetlosti.

Mjerenje u 200 točaka odrađeno je dana 3.9.2020. na testnoj slici šahovskog uzorka (Slika 5.3., dolje lijevo i dolje desno). Luminacija je na testnoj slici šahovskog uzorka izmjerena na središtu svakog polja s horizontalnom udaljenošću od 0 cm i kutom  $\theta = 0$ . Zbog optičkog sustava, svjetlost koju emitira jedinica pozadinskog osvjetljenja je usmjerena prema središtu zaslona što rezultira nehomogenom distribucijom mjernih podataka. Očekuju se veće vrijednosti luminacije za polja u sredini ekrana, a najmanje za polja bliže rubovima. Također, predviđaju se vrijednosti luminacija niže od luminacija zapisanih na tvorničkim postavkama prilikom kupovine uređaja.

Televizor na kojem se mjerenje provodilo je LG model 37LG2000, duljine dijagonale ekrana 94 cm i omogućene luminacije od 500 cd/m<sup>2</sup> te je u pogonu od 2008. godine.

Luminacija  $L_S$  je dobivena kao prosječna luminacija bijelih polja na testnim slikama šahovskog uzorka te je prikazana u tablici 5.2. zajedno sa apsolutnim i relativnim odstupanjima od prosjeka. Maksimalna izmjerena vrijednost luminacije u individualnom bijelom polju iznosila je 153 cd/m<sup>2</sup>. Luminacija crnih polja u svim mjerenjima je iznosila 1.

**Tablica 5.2.** – Srednja vrijednosti luminacije ekrana temeljena na mjerenju šahovskog uzorka, najmanja i najveća vrijednost izmjerena u jednom polju te njihova odstupanja.

<b>LG LCD pozadinsko osvjetljenje</b>	$L_S$ (cd/m <sup>2</sup> )	$L_{MAX}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$L_{MIN}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$\Delta_{MAX}$	$\Delta_{MIN}$	$\Gamma_{max}$ (%)	$\Gamma_{min}$ (%)
100%	124,77	153,00	55,00	28,23	69,77	22,63	55,92
80%	120,20	147,00	52,00	26,80	68,20	22,30	56,74
60%	94,20	116,00	40,00	21,80	54,20	23,14	57,54
40%	71,48	86,00	33,00	14,52	38,48	20,31	53,83
20%	44,40	55,00	22,00	10,60	22,40	23,87	50,45

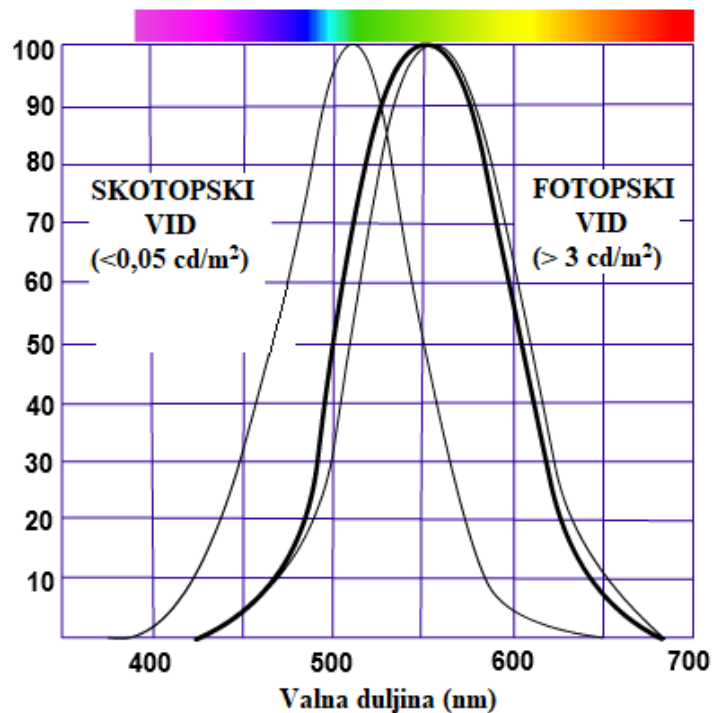
Mjerenjem LCD ekrana u jednoj točki (Tablica 5.3.), zabilježena je veća luminacija u svim slučajevima prikazane bijele testne slike nego u prikazivanjima crvene, zelene i plave. Prosječna luminacija bijelog zaslona dobivena mjerenjem u 200 točaka i luminacija dobivena mjerenjem u jednoj točki nije jednaka. Promjenom razine pozadinskog osvjetljenja primjećuje se neznatni pad sa 100 % na 80 %, dok se veći pad uočava s promjenom 40 % na 20 %.

Ovisno o jačini pozadinskog osvjetljenja, udaljenosti su se mijenjale, a testne slike crvene, zelene i plave boje su prikazivane na zaslonu kako bi se otprilike dobila i njihova srednja vrijednost. Podaci iz tablice 5.3. su dobiveni tako što se mjerni instrument fiksirao na udaljenostima od ekrana gdje je prikazivao srednju vrijednost luminacije izračunate za bijelo svjetlo na temelju testne slike šahovskog uzorka. Primjećuje se znatno odstupanje zelene boje (Tablica 5.3.) u odnosu na crvenu i plavu. Razlog tomu je što osjetljivost ljudskog oka na svjetlost varira ovisno o valnoj duljini. Ljudsko oko će s istim izvorom svjetlosti te istom razinom osvjetljenosti registrirati zeleno svjetlo svjetlijim više nego crveno i plavo (Slika 5.2.).

**Tablica 5.3.** – Vrijednosti luminacije ekrana za jednu točku u slučajevima bijele, crvene, zelene i plave testne slike.

LG LCD pozadinsko osvjetljenje	Bijela	Crvena	Zelena	Plava
	$L_s$ (cd/m <sup>2</sup> )			
100%	125	35	84	11
80%	120	34	81	11
60%	94	27	64	9
40%	71	21	50	7
20%	44	12	30	4

Pri normalnim uvjetima svjetlosti (fotopski vid), krivulja postiže svoj maksimum na 555 nanometara što odgovara boji zelene svjetlosti vidljivog spektra (Slika 5.4.) [31]. Stoga je ljudsko oko najosjetljivije na zelenu svjetlost te zbog istog razloga televizori koriste najviše zelenu boju pri stvaranju slike kako bi se bolje stimulirao vizualni sustav ljudskog oka i mozga. Posljedično, mjerenjima se dobiva najveća luminacija za zelenu sliku.



Slika 5.4. – Reakcija ljudskog oka na svjetlost, [31].

U tablici 5.4. može se ustanoviti kako neovisno o pozadinskom osvjetljenju: crvena, zelena i plava boja održavaju gotovo konstantan omjer udjela u slici iz čega proizlazi konstatacija da pozadinsko osvjetljenje ne utječe na ulogu mijenjanja boja. Iz iste tablice uočava se najveći postotak luminacije zelene boje, skoro dvije trećine od ukupne, čime se potvrđuje gore spomenuta konstatacija. Neznatno odstupanje se primjećuje na 20% pozadinskog osvjetljenja no razlog tomu je mjerna pogreška jer mjerni instrument ne prikazuje decimale na cijelim brojevima, a uzevši u obzir manje vrijednosti luminacija pri zadnjem mjerenju posljedično se dobivaju minimalna odstupanja od prave vrijednosti. Također, zbrojna luminacija crvenog, zelenog i plavog uzorka daje veću vrijednost od bijele.

**Tablica 5.4.** – Vrijednosti luminacije ekrana te omjeri korištenja crvene, zelene i plave boje.

Intenzitet pozadinskog osvjetljenja	Ukupan zbroj luminacije RGB-a	Crvena	Zelena	Plava
100 %	130 cd/m <sup>2</sup>	26,92 %	64,62 %	8,46 %
80 %	126 cd/m <sup>2</sup>	26,98 %	64,29 %	8,73 %
60 %	100 cd/m <sup>2</sup>	27,00 %	64,00 %	9,00 %
40 %	78 cd/m <sup>2</sup>	26,92 %	64,10 %	8,97 %
20 %	45,5 cd/m <sup>2</sup>	26,37 %	64,84 %	8,79 %

Mjerenja luminacija na testnim slikama šahovskog uzorka su odrađena na televizoru marke LG model 37LG2000. U prikazanim tablicama 5.5.–5.9. su prikazane vrijednosti luminacija LG televizora pri različitim intenzitetima pozadinskog osvjetljenja. Primjećuju se ekstremi maksimalne vrijednosti u središnjem donjem lijevom dijelu televizora što može upućivati na pregrijavanje. Minimalna vrijednost nalazi se skroz u gornjem desnom kutu zaslona gdje se najslabije osvjetljava slika ekrana što može upućivati na istrošenost elementa pozadinskog osvjetljenja.

**Tablica 5.5.** – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 100 % pozadinskog osvjetljenja u cd/m<sup>2</sup>.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	77	102	112	112	117	121	118	117	118	121	120	118	109	104	102	104	104	93	76	55
2	91	109	120	120	124	127	126	124	128	126	129	124	122	115	113	111	110	98	82	64
3	93	112	121	126	128	132	132	133	132	133	131	130	126	124	119	118	108	97	84	71
4	96	110	125	127	136	136	139	139	139	137	138	133	134	130	130	125	117	105	92	74
5	92	112	124	131	137	141	143	145	143	142	143	139	137	136	133	131	122	112	98	78
6	95	112	128	134	141	141	145	148	150	147	146	143	144	141	137	135	131	121	107	84
7	90	112	127	137	143	143	147	151	152	152	148	146	145	143	140	140	134	127	111	90
8	91	109	126	135	142	144	150	151	153	152	151	148	147	143	142	140	135	128	115	91
9	87	108	124	131	138	143	148	151	151	153	151	149	146	141	141	140	135	125	110	90
10	84	104	120	126	135	138	147	147	149	149	148	146	142	135	138	134	131	118	103	82

**Tablica 5.6.** – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 80 % pozadinskog osvjetljenja u cd/m<sup>2</sup>.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	73	98	108	108	115	116	114	110	115	115	114	112	105	100	99	99	100	88	73	52
2	80	107	115	117	122	123	121	120	122	122	123	120	115	111	108	108	106	95	79	60
3	87	108	118	121	126	127	127	128	128	128	128	125	122	119	116	113	105	95	82	67
4	87	106	120	124	131	132	135	135	134	133	133	131	129	126	125	121	113	100	90	72
5	88	108	121	126	134	136	139	140	139	137	139	135	133	132	130	127	119	108	95	75
6	87	110	122	130	137	136	141	144	144	143	140	138	138	136	132	132	125	118	102	80
7	87	110	123	132	138	138	142	146	146	146	143	140	141	138	135	135	129	123	108	86
8	84	107	121	130	137	139	144	146	147	147	146	143	142	139	136	135	130	125	111	88
9	82	102	119	125	133	137	142	145	145	147	144	144	140	136	136	134	130	120	108	86
10	77	100	114	121	129	133	139	141	141	143	142	141	135	130	131	129	125	113	99	77

**Tablica 5.7.** – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 60 % pozadinskog osvjetljenja u cd/m<sup>2</sup>.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	60	77	87	85	90	93	90	90	92	91	92	89	85	79	80	78	80	71	59	40
2	65	86	91	94	95	100	97	97	96	99	97	98	91	90	85	86	83	77	61	48
3	70	86	95	96	102	101	103	102	103	101	103	99	98	94	93	89	84	74	66	53
4	70	85	95	99	104	107	107	108	107	107	107	105	102	101	99	97	89	80	71	58
5	70	86	97	100	106	107	111	110	111	107	111	107	107	104	103	100	95	85	75	58
6	69	86	97	103	107	108	110	113	113	112	110	109	109	108	105	104	98	92	81	64
7	67	85	96	103	108	107	111	113	115	114	112	110	111	108	106	105	101	95	84	65
8	66	81	93	100	106	108	111	112	113	116	112	111	109	108	105	104	101	96	86	68
9	64	80	91	96	101	104	108	110	111	111	112	109	107	103	103	102	99	92	80	65
10	58	77	86	92	97	100	106	106	107	108	108	107	102	99	99	97	95	86	77	61

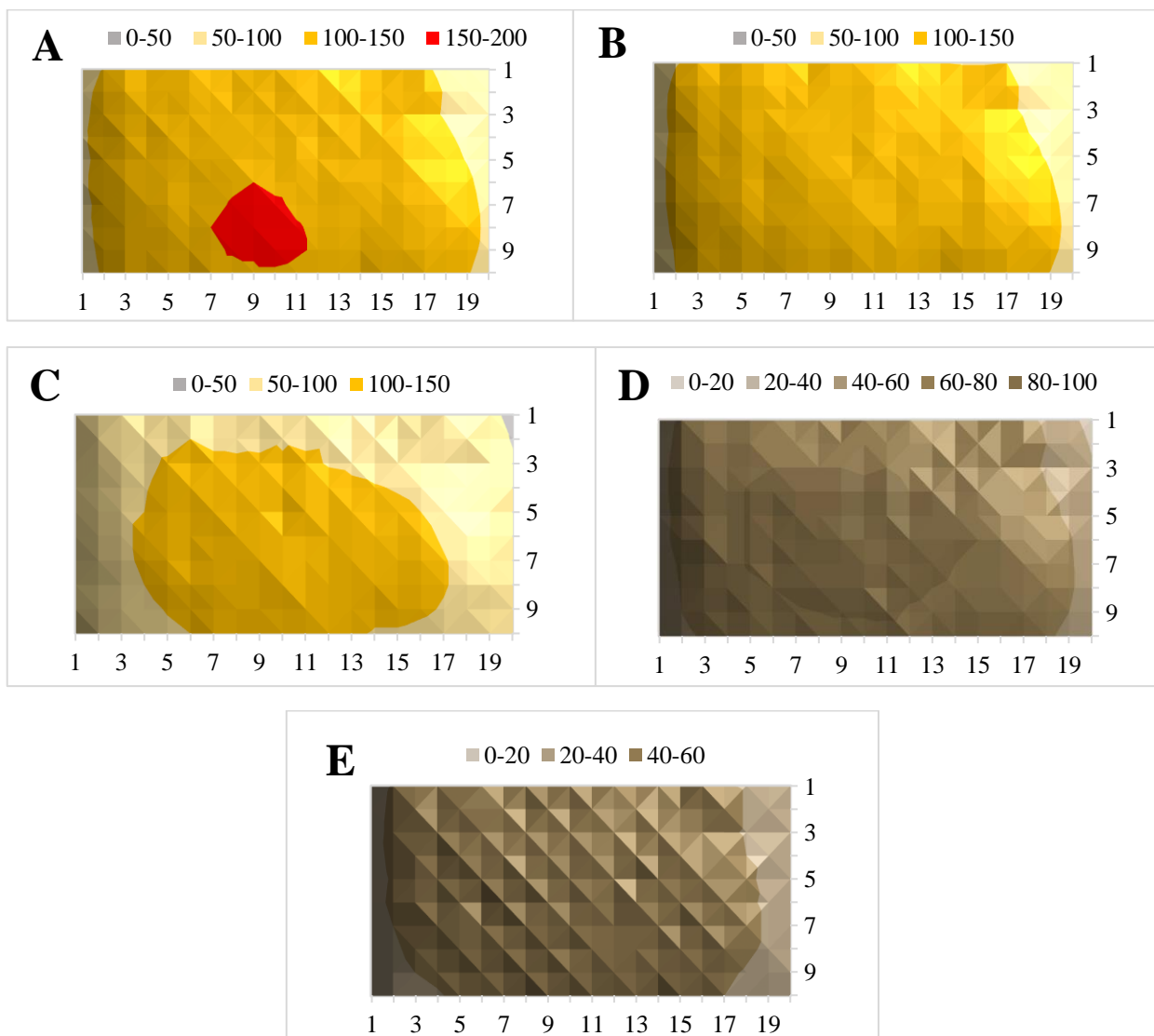
**Tablica 5.8.** – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 40 % pozadinskog osvjetljenja u cd/m<sup>2</sup>.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	46	64	67	68	71	72	71	71	69	72	71	71	67	64	62	63	63	58	45	33
2	52	66	72	73	76	76	76	75	76	76	76	75	73	69	70	67	67	60	51	38
3	54	68	74	75	78	80	80	80	80	79	80	78	75	75	72	71	65	58	51	42
4	54	68	74	77	81	82	83	83	83	82	83	80	80	77	78	74	70	61	56	44
5	53	66	74	77	81	81	84	84	84	83	84	81	81	80	79	77	73	65	57	45
6	53	67	76	77	81	82	83	85	86	85	83	83	82	81	80	79	75	70	62	48
7	50	63	72	77	81	80	83	84	85	85	83	82	82	80	79	78	76	72	63	49
8	48	61	70	75	78	80	82	84	84	84	81	82	80	79	78	77	75	72	63	50
9	47	60	67	70	75	76	79	80	81	81	82	79	78	76	76	75	74	68	60	47
10	43	56	62	67	71	73	74	77	76	77	76	77	73	72	72	71	68	63	55	42

**Tablica 5.9.** – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 20 % pozadinskog osvjetljenja u cd/m<sup>2</sup>.

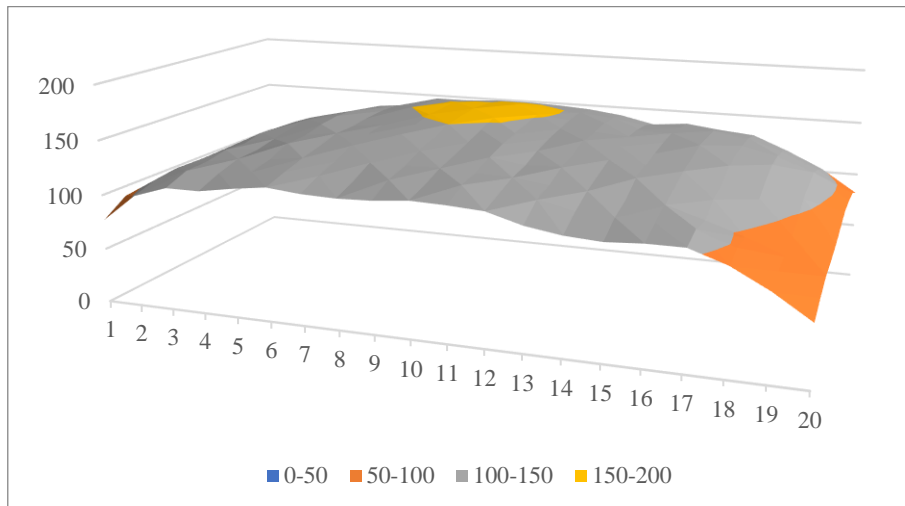
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	29	42	44	45	47	49	46	48	47	49	47	48	43	43	40	45	41	39	30	22
2	34	43	48	47	51	51	51	48	51	49	51	49	48	45	45	44	45	39	34	23
3	34	44	47	50	50	52	51	52	51	52	51	51	48	49	46	45	42	39	33	27
4	35	43	48	48	53	52	54	52	54	52	54	51	52	49	51	47	46	40	37	28
5	32	42	47	49	50	53	52	55	52	53	52	52	49	51	49	49	46	43	36	29
6	34	43	47	47	51	48	53	51	53	51	53	50	52	49	49	47	47	42	38	29
7	30	40	44	48	49	49	49	52	51	52	50	49	49	49	46	48	45	44	38	29
8	30	38	43	44	47	47	50	48	50	48	49	48	48	46	47	45	46	42	38	28
9	28	36	40	42	43	46	45	47	46	48	46	47	45	45	44	44	42	39	35	28
10	25	35	37	39	42	42	43	42	45	43	44	43	43	40	42	40	40	36	31	24

Konturni dijagrami (Slika 5.5.) prikazuju raspodjelu luminacije na temelju pojedinačnih bijelih polja te potvrđuje izmjerene vrijednosti prijašnjih tablica. Neovisno o promjeni razine pozadinskog osvjetljenja, luminacija ekstrema te ostalih dijelova čitavog ekrana je ostala u sličnim omjerima. Na konturnom dijagramu sa slike 5.5. pod a) su crvenom bojom označeni dijelovi ekrana na kojima su očitane najveće vrijednosti sjajnosti u svim mjerenjima. Anomalije rezultata nisu drastične, pa se stoga nisu poduzele mjere u vezi potencijalnog kvara mjenog televizora. Najveće luminacije ne odstupaju puno od preostalih područja oko sredine ekrana, dok je u kutovima riječ o istrošenijim lampicama što je logično s obzirom na to da je televizor star 12 godina. Ipak, po završetku je primijenjeno smanjenje razine pozadinskog osvjetljenja na 80 %.



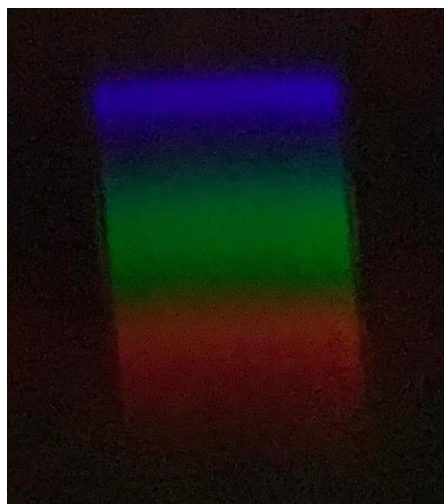
**Slika 5.5.** – Konturni dijagrami vrijednosti luminacija iz tablica 5.5.-5.9. pri podešenih: a) 100 %, b) 80 %, c) 60 %, d) 40 % i e) 20 % pozadinskog osvjetljenja.

3D raspodjela luminacije LG zaslona je modelirana kako bi se potvrdila konfiguracija jedinice pozadinskog osvjetljenja. Prema slici 5.6., raspodjela luminacije zaslona ima maksimum u središtu što je karakteristično za jedinice pozadinskog osvjetljenja postavljenih u nizovima odnosno direktno pozadinsko osvjetljenje. Također se primjećuje oštar pad luminacije u blizini rubova TV ekrana.



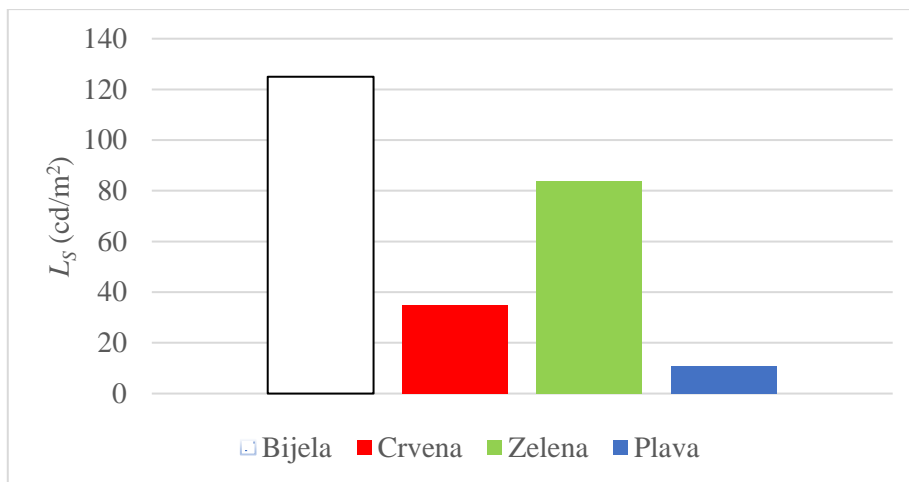
**Slika 5.6.** – 3D plošni grafikon raspodjele luminacije na 100% pozadinskog osvjetljenja pri mjerenjima testne slike šahovskog uzorka.

Slika 5.7. prikazuje pobudu LG zaslona snimljenu pomoću rešetke i mobitela. Slika je tamna jer sjajnost nije na visokoj razini.



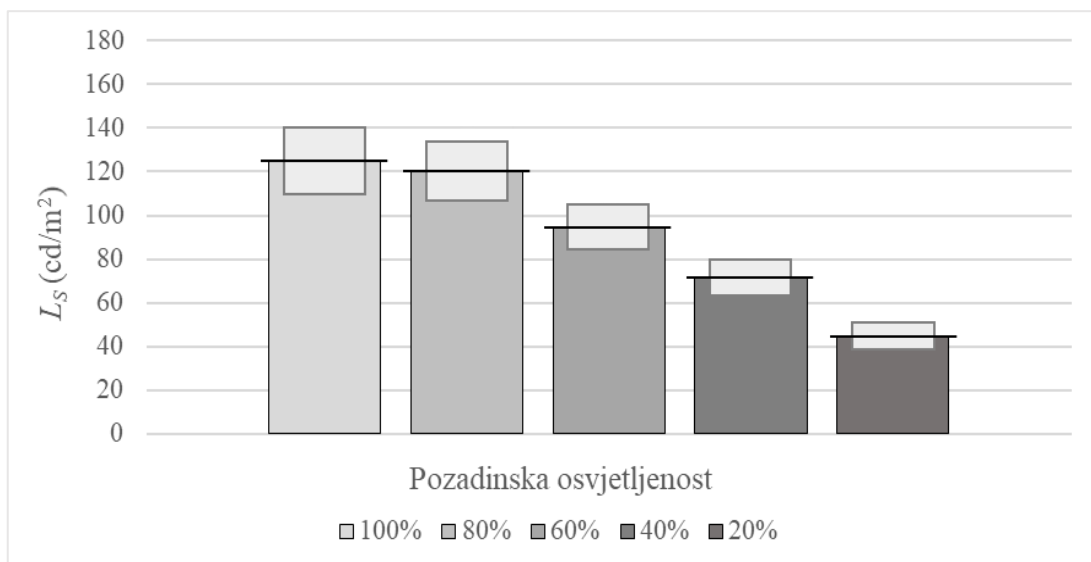
**Slika 5.7.** – Spektralni sastav mjerelog LG televizora.

Na slici 5.8. je prikazan dijagram s omjerima luminacija bijele, crvene, zelene i plave boje pri jednakim udaljenostima od površine ekrana. Bijela i zelena boja prevladavaju u skladu s testiranjima.



**Slika 5.8.** – Dijagram udjela primarnih boja testiranog LCD televizora.

Na slici 5.9. primjećuje se kako luminacija ravnomjerno opada sa smanjenjem razine pozadinskog osvjetljenja. Maksimalno apsolutno odstupanje od pojedine srednje vrijednosti vidljivo je na grafu.

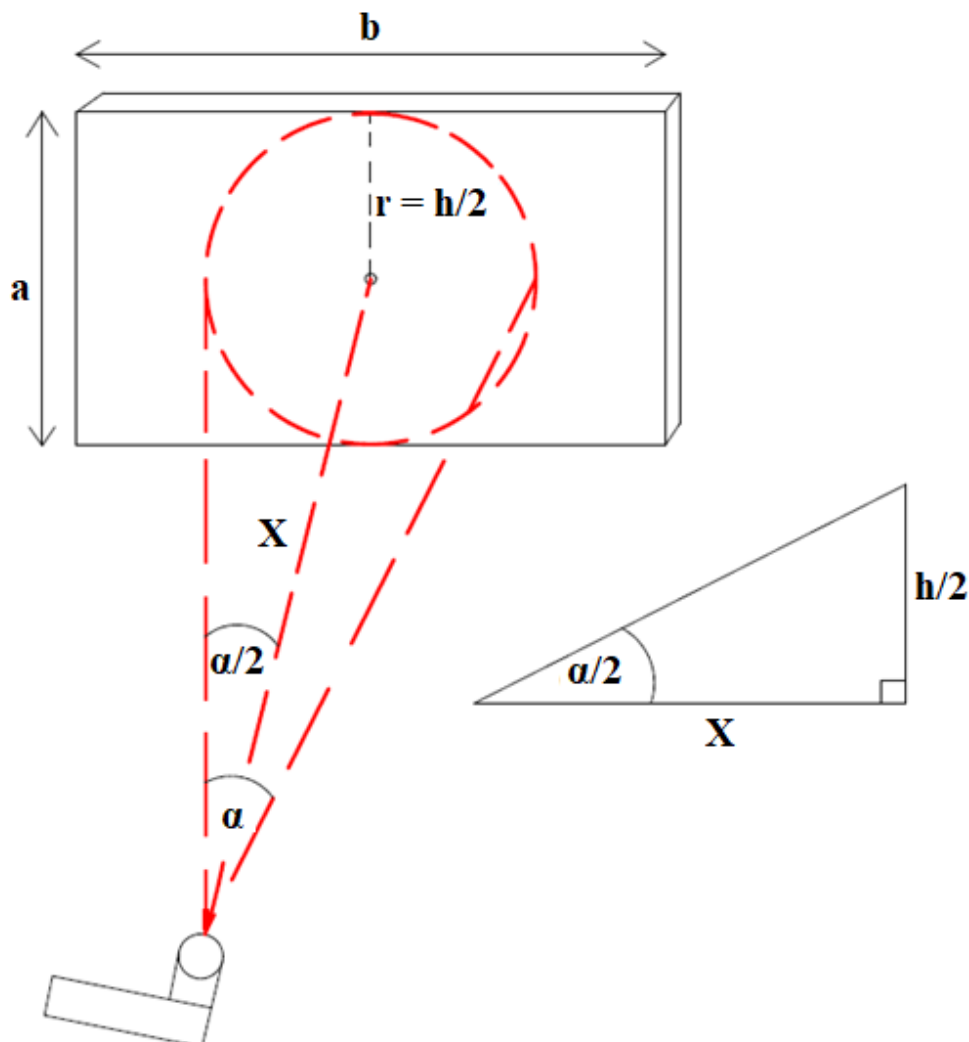


**Slika 5.9.** – Dijagram srednjih vrijednosti luminacija po intenzitetima pozadinskog osvjetljenja.



Sljedeće mjerenje se izvodilo na 4 različita ekrana čiji su osnovni podaci prikazani u tablici 5.10. s markom i modelom ekrana, duljinama dijagonala, godinom kupovine te tvorničkom luminacijom prije početka uporabe. Napomena je da se za Samsungov model nije mogao pronaći tvornički iznos luminacije, pa se umjesto toga uzeo u obzir iznos drugog Samsungovog modela identičnih dimenzija. Pozadinsko osvjetljenje je postavljeno na 100 % za sve ekrane.

Upotrebom jednostavne trigonometrije (Slika 5.10.) odredila se i izračunala formula potrebne optimalne udaljenosti na koju treba postaviti vidik mjernog instrumenta od centralne točke mjerenog zaslona. Kut mjernog instrumenta u odnosu na mjerenu površinu je ostao  $\theta = 0$ , odnosno zraka iz centralne točke zaslona je upadala u senzor mjernog instrumenta pod kutom od 90 stupnjeva.



**Slika 5.10.** – Prikaz načina mjerenja metodom fotometrije, obuhvatna mjerena površina (lijevo) te trigonometrijska skica izvoda formule za udaljenost (desno).

Cilj je bio zahvatiti što veću mjerenu površinu kako bi rezultati bili što vjerodostojniji, a da se pritom ne naruši ravnornost mjerenjem izvan ekrana. Mjerenjem polovice visine ekrana uz podatak da mjerni instrument registrira svjetlost pod prihvatnim kutom od 20 stupnjeva te pomoću trigonometrijskih identiteta, izvela se formula za potrebnu udaljenost instrumenta od zaslona te pomoću iste i računala (5-1). Na taj način su svi ekrani mjereni istim omjerom. Jednadžba korištena za potrebnu udaljenost mjernog instrumenta od pojedinog ekrana glasi

$$x = \frac{h/2}{\text{tg}(\alpha/2)} \quad , \quad (5-1)$$

gdje je:  $x$  – udaljenost mjernog instrumenta od centralne točke mjenog ekrana;  $h$  – vertikalna dimenzija ekrana;  $\alpha$  – prihvatni kut mjernog instrumenta (20 stupnjeva).

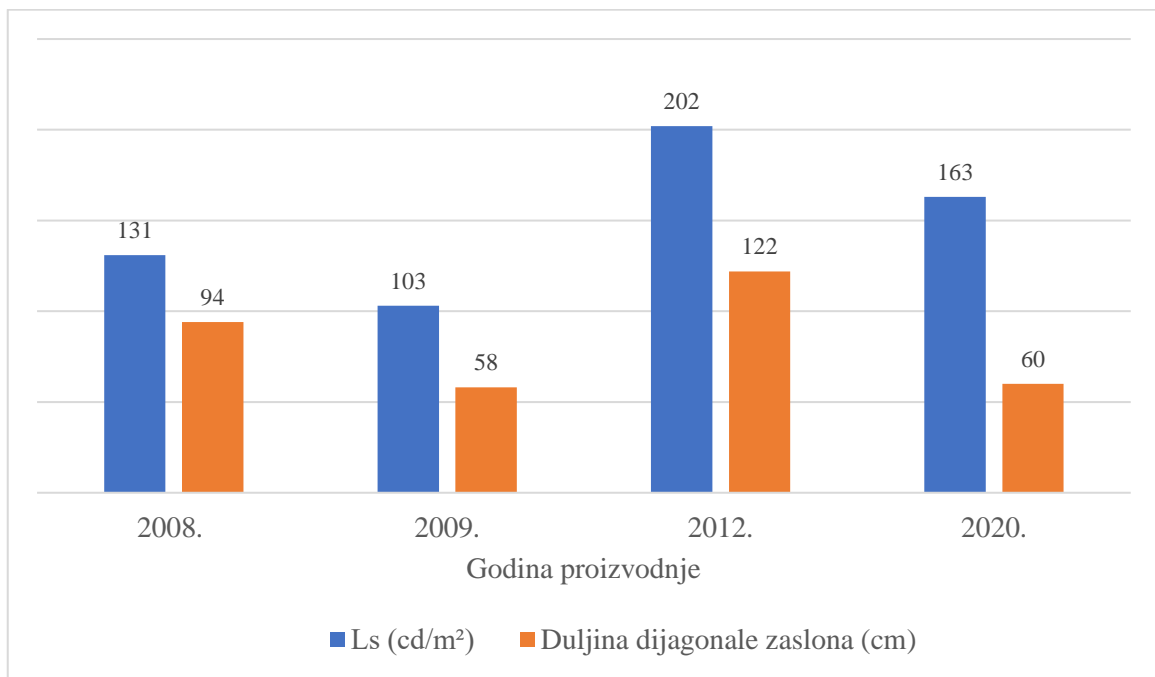
**Tablica 5.10.** – Luminacije četiri ekrana na prilagođenim udaljenostima – u postocima su izraženi udjeli svake od RGB-a zasebno, a za bijelu udio u odnosu na prije puštanja u pogon.

	Udaljenost instrumenta od ekrana	Bijela (cd/m <sup>2</sup> )	Crvena (cd/m <sup>2</sup> )	Zelena (cd/m <sup>2</sup> )	Plava (cd/m <sup>2</sup> )
<b>Philips</b> model: <b>231E1SB</b> 58cm, 2009.god. 300cd/m <sup>2</sup>	82 cm	103 (34,33 %)	25 (24,51 %)	71 (69,61 %)	6 (5,88 %)
<b>AOC</b> model: <b>24G2U5</b> 60cm, 2020.god., 250 cd/m <sup>2</sup>	85 cm	163 (65,20 %)	36 (22,22 %)	115 (70,99 %)	11 (6,79 %)
<b>LG</b> model: <b>37LG2000</b> 94cm, 2008.god., 500 cd/m <sup>2</sup>	130 cm	131 (26,20 %)	37 (27,01 %)	88 (64,23 %)	12 (8,76 %)
<b>Samsung</b> model: <b>ue48h5030aw</b> 122cm, 2012.god., 450 cd/m <sup>2</sup>	170 cm	202 (44,89 %)	49 (22,38 %)	147 (67,12 %)	23 (10,50 %)

Povećanjem dimenzija monitora povećava se i odstupanje jednakosti zbroja crvene, plave i zelene od bijele individualno. Podaci upućuju na to da dimenzija nije presuđujući faktor u osvjetljenju i luminaciji ekrana, već da je to njegova starost (Tablica 5.10.).

Slika 5.11. prikazuje srednje vrijednosti luminacija za različito godište TV jedinice te pripadajuću duljinu dijagonale zaslona. Uočljivo je kako luminacija opada u većoj mjeri zbog starosti ekrana. Zaslone čija je dijagonala iznosila 60 cm je imala veću vrijednost srednje luminacije od zaslona veličine 94 cm, dok je razlika u starosti iznosila 12 godina. Prema tome se zaključuje da vrijednost luminacije ekrana ovisi više o njegovoj starosti nego veličini istog.

**Tablica 5.11.** – Dijagram odnosa luminacije i veličine zaslona s godinom proizvodnje.



## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu mjerila se luminacija LCD TV jedinice marke 37LG2000 metodama infracrvene termografije i fotometrije. Metodom infracrvene termografije su se mjerili LCD televizori na FERIT-u. Na jednom televizoru je ustanovljena nepravilnost zbog pregrijavanja desnog ruba ekrana. Fotometrijskom metodom su se mjerila 4 kućna LCD televizora. Rezultati mjerenja ukazuju na funkcionalno stanje svih ispitivanih uređaja.

Iz fotometrijskog mjerenja se može zaključiti kako je i na 80 % pozadinskog osvjetljenja sasvim očuvana luminacija boja slike, a čijim se smanjenjem može produljiti vijek trajanja LCD televizora. Vrijednosti su neznatno smanjene u odnosu na aktivaciju 100 % pozadinskog osvjetljenja, a pritom ekran dobiva svoj period hlađenja za cilj očuvanja, pa je preporučljivo i očigledno korisno smanjiti pozadinsko osvjetljenje televizora na nešto ispod 100 %. Uobičajeno je da na rubovima ekrana budu izmjerene manje vrijednosti luminacija ako je pozadinsko osvjetljenje direktno, a ne rubno. Razlog tomu je što centralne točke dobivaju osvjetljenje i od susjednih izvora, dok su rubovi zakinuti za jednu stranu, a u slučaju kutova i više. Noviji modeli su pružili veću efikasnost luminacije s obzirom na tvorničke vrijednosti u odnosu na starije modele.

Zatim, rezultati mjerenja sugeriraju kako zelena boja najlakše „upada“, u oko, a plava najteže. Hijerarhija u prednosti luminacijskih vrijednosti boja je održana u pogledu svih mjerenja čime zelena predstavlja oko dvije trećine vrijednosti ukupnog Bayerovog filtra, za kojom slijede crvena i najmanje osvijetljena plava. Zaključuje se da luminacija ovisi o polarizaciji tekućih kristala. Smanjenje intenziteta pozadinskog osvjetljenja podrazumijeva zakretanje molekula tekućih kristala pod određenim kutom, čime se propušta željena razina svjetlosti.

## 7. LITERATURA

- [1] J., Castellano: The History of LCD Development, FPD International, Yokohama, 2005.
- [2] Cholesteryl benzoate, Merck, 2020., dostupno na: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/c75802?lang=en&region=NL> [30.08.2020.].
- [3] CRT monitor, MeštrovićIzlazneJedinice, siječanj 2015., dostupno na: <https://sites.google.com/site/mestrovic-izlaznejedinice/home/monitor/lcd-monitor/crt-monitor> [30.08.2020.].
- [4] R., Silva, Lifewire, Guide to Plasma TVs, rujan 2020., dostupno na: <https://www.lifewire.com/guide-to-plasma-tvs-1847857> , pristup stranici [21.09.2020.].
- [5] J., W., Goodby, P., J., Collings, T., Kato, C., Tschierske, H., Gleeson, P., Raynes, V., Vill: Handbook of Liquid Crystals, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
- [6] A., Krishnan, Digit, In depth: a peek inside your display, lipanj 2016., dostupno na: <https://www.digit.in/features/general/a-peek-inside-your-display-display-internals-display-layer-technology-30114.html> , pristup stranici [21.09.2020.].
- [7] Panasonic has developed its 'last plasma panel,' but television sales to continue, The Verge, 2013., dostupno na: <https://www.theverge.com/2013/4/10/4210556/panasonic-ceases-plasma-panel-development-will-continue-to-make-tvs> [30.08.2020.].
- [8] Q., Kennemer., R., Waniata, LED vs. LCD TVs explained: What's the difference?, Digital trends, ožujak 2020., dostupno na: <https://www.digitrends.com/home-theater/led-vs-lcd-tvs/> [15.09.2020.].
- [9] N., Rodriguez, S., Hunt, M., Goenaga, M., Velez-Reyes: Determining optimum pixel size for classification, Proc SPIE, Baltimore, 2014.
- [10] C., Woodford, LCDs (liquid crystal displays), Explain That Stuff, srpanj 2020., dostupno na: <https://www.explainthatstuff.com/lcdtv.html> [01.09.2020.].
- [11] MIT OpenCourseWare: Electromagnetic Energy - From Motors to Lasers, Massachusetts, 2011.
- [12] T., Rasmussen, FlatpanelsHD, rujan 2016., dostupno na: <https://www.flatpanelshd.com/focus.php?subaction=showfull&id=1474618766> [06.09.2020.].
- [13] D., Z., Usporedba tehnologije prikaza: TN vs. VA vs. IPS monitori, PC Chip, lipanj 2019., dostupno na: <https://pcchip.hr/hardver/tv-i-monitori/usporedba-tehnologije-prikaza-tn-vs-va-vs-ips-monitori/> [01.09.2020.].

- [14] S., Mulk, Edge-Lit LCDs VS Direct-lit LCDs | ELED TV VS DLED TV : Which is better? | LCD Vs LED?, The Indian Observer, ožujak 2018., dostupno na: <https://www.theindianobserver.com/2018/03/difference-between-eled-tv-dled-tv.html> [02.09.2020.].
- [15] M., Chang, D., Das, P., Varde, M., Pecht: Light emitting diodes reliability review, Microelectronic Reliability, vol 52, 762-782, 2012.
- [16] I., Tavman, A., Turgut, M., Iz: Thermal analysis of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) TV panels with single sided LED bars, 2012 IEEE 18th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Albu Iulia, 2012.
- [17] A. Caraballo, Thin Film Transistors(TFT) - CHME 361 NMSU, travanj 2018., dostupno na: [https://www.youtube.com/watch?v=GHTdubq26Uo&list=PLv0CJdTihg83ciJXzNB5ca\\_7lO8hHa5Uy&index=9](https://www.youtube.com/watch?v=GHTdubq26Uo&list=PLv0CJdTihg83ciJXzNB5ca_7lO8hHa5Uy&index=9) [04.09.2020.].
- [18] G., Dickson: COVID-19 hastens a structural shift in the LCD market, Inf Disp, 2020.
- [19] H. Tankovska, Statista, ožujak 2020., dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/1106346/forecast-of-global-lcd-tv-panel-shipment-impacted-by-covid-19-outbreak/> [02.09.2020.].
- [20] M., Vollmer, K.,-P., Möllmann: Infrared Thermal Imaging, Second Edition, Wiley-VCH, 2018.
- [21] M., Gaši, B., Milovanović, S., Gumbarević: Comparison of Infrared Thermography and Heat Flux Method for Dynamic Thermal Transmittance Determination, vol 9, 132, 2019.
- [22] J., Haglund, J., Fredrik, E., Melander, A.,-M., Pendrill, C., Xie, K., Schonborn: Infrared Cameras in Science Education, National Resource Centre for Physics Education, 2016.
- [23] What is Infrared Thermography?, Avio – Challenge for the future, god. izdavanja (nema), dostupno na: <http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/what-thermo.html> [02.09.2020.].
- [24] FLIR E60, Transcat, god. izdavanja (nema), dostupno na: <https://www.transcat.com/flir-e60-thermal-camera> , pristup stranici [03.09.2020.].
- [25] How To Use An Infrared Thermometer ATP Instrumentation, ATP Media, siječanj 2014., dostupno na: [https://www.youtube.com/watch?v=yfZKFKrehLM&list=PLv0CJdTihg83ciJXzNB5ca\\_7lO8hHa5Uy&index=7&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=yfZKFKrehLM&list=PLv0CJdTihg83ciJXzNB5ca_7lO8hHa5Uy&index=7&t=0s) [03.09.2020.].
- [26] M., Brown, Defective pixels in LCD TVs with LED backlight, Theappliancesreviews, srpanj 2018., dostupno na: <https://theappliancesreviews.com/defective-pixels-in-lcd-tvs-with-led-backlight/> [06.09.2020.].
- [27] H., Glavaš, T., Barić, D., Jukić, E., Desnica: Infrared thermography as evaluation method of a faulty status of a LED LCD TV, J Soc Inf Display, 1-20, 2020.

- [28] C., C., Sun: Brightness management in a direct LED backlight for LCD TVs, *J. Soc. Inf. Disp.*, vol. 16, pp. 519-526, 2008.
- [29] R., McCluney: Introduction to radiometry and photometry: Artech House, pp.11., Boston, 2014.
- [30] J., R., Meyer-Arendt: Radiometry and photometry: Units and conversion factors, *Appl. Opt.*, vol. 7, pp. 2081-2084, 1968.
- [31] S., J., Robinson, J., T., Schmidt: Fluorescent Penetrant Sensitivity and Removability - What the Eye Can See, a Fluorometer Can Measure, *Materials Evaluation*, vol 42, 1029-1034, 1984.
- [32] I., McLoughlin, McGraw-Hill: Computer Peripherals, School of Computer Engineering Nanyang Technological University Singapore, McGraw-Hill Education, 512, 2011.
- [33] Fraunhofer USA Center for Sustainable Energy Systems: Residential Consumer Electronics Energy Consumption in the United States, US Department of Energy, 2017.
- [34] S., D., Gupta, A., Agarwal: Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment, *Light Emitting Diodes for Agriculture*, pp. 1-25, 2017.
- [35] Konica Minolta: Digital Cinema Screen Luminance Measurement, Singapore, 2018.
- [36] M., R., Krames, O., B., Shchekin, R., Mueller-Mach: Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting, *J Disp Technol.*, 3(2), 160–175, 2007.
- [37] M., P., Vaughan, University College Cork: Optics, 2014.
- [38] G., Fain, A., P., Sampath: Rod and cone interactions in the retina, vol 1, 657, 2018.
- [39] Andor, Oxford Instruments: What is Light - An Overview of the Properties of Light, godina (nema).
- [40] C., Akins: What is Light?, AE Product Development, 2016.
- [41] T., Kruisselbrink, R., Dangol, A., Rosemann: Photometric measurements of lighting quality: An overview, Elsevier, vol 138, 42-52, 2018.

## POPIS OZNAKA

$A$  = površina [ $m^2$ ]

$E$  = iradijancija [ $W/m^2$ ]

$E_s$  = osvjetljenje [lx]

$h$  = visina [m]

$I$  = radijacijski intenzitet [ $W/sr$ ]

$I_s$  = intenzitet svjetlosti [cd]

$L$  = ozračenost [ $W/sr\ m^2$ ]

$L_s$  = luminacija svjetlosti [ $cd/m^2$ ]

$r$  = polumjer [cm]

$r_{max/min}$  = maksimalna/minimalna relativna odstupanja od prosjeka [%]

$T$  = termodinamička temperatura [K]

$W$  = energija [J]

$x$  = udaljenost [cm]

$\alpha$  = prihvatni kut [ $^\circ$ ]

$\Delta_{max/min}$  = maksimalna/minimalna apsolutna odstupanja od prosjeka

$\varepsilon$  ili  $e$  = stupanj emisivnosti

$\theta$  = kut kružnog isječka [ $^\circ$ ]

$\sigma$  = konstanta proporcionalnosti [ $W/m^2\ K^4$ ]

$\tau$  = propusnost atmosfere

$\phi$  = tok zračenja [W]

$\phi_s$  = svjetlosni tok [lm]

$\Omega$  = prostorni kut [sr].



## POPIS KRATICA

- BEF = Brightness Enhancement Film (reflektorski sloj za pojačavanje svjetline)
- CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp (fluorescentna lampa sa hladnom katodom)
- CRT = Cathod Ray Tube (katodna cijev)
- DSM = Dynamic Scattering Mode (metoda dinamičkog raspršivanja)
- HDR = High Dinamic Range (visoki dinamični raspon)
- IPS = In Plane Switching (tehnologija zaslona za LCD)
- IR = Infrared (infracrveno)
- ISO = International Organization for Standardization (Međunarodna organizacija za standardizaciju)
- ITO = Indium tin oxide (indij kositreni oksid)
- IUPAP = International Union of Pure and Applied Physics (Međunarodna unija čiste i primijenjene fizike)
- LCD = Liquid Crystal Display (zaslon s tekućim kristalima)
- LED = Light-emitting diode (svjetleća dioda)
- LGP = Light guide plate (ploča svjetlosnog vodiča)
- LWIR = Longwave Infrared (dugovalni infracrveni spektar)
- MWIR = Medium Wavelength Infrared (srednjevalni infracrveni spektar)
- NDT = Non-destructive testing (ispitivanje materijala bez razaranja)
- OLED = Organic light-emitting diode (zaslon od organskih materijala)
- PDP = Plasma display panel (plazma zaslon)
- QLED = Quantum dot light-emitting diode (zaslon s tehnologijom kvantne točke)
- RGB = Red-green-blue (piksel od crvene, zelene i plave boje)
- SVA = Super Vertical Alignment (super vertikalno poravnanje)
- SWIR = Shortwave Infrared (kratkovalni infracrveni spektar)
- TFT = Thin film transistor (tankoslojni tranzistor)
- TN = Twisted Nematic (ispleteni nematični – tehnologija zaslona za LCD)
- TV = Televizor
- UV = Ultraviolet (ultraljubičasto).

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2.1.</b> – Cholesteryl Benzoate, supstanca koja je korijen današnje tehnologije tekućih kristala. ....	3
<b>Slika 3.1.</b> – Prikaz CRT monitora.....	4
<b>Slika 3.2.</b> – Shematska konfiguracija matrične elektrode PDP-a. ....	6
<b>Slika 3.3.</b> – Presjek tipičnog OLED panela .....	7
<b>Slika 3.4.</b> – Prikaz LCD-a pod povećalom. ....	9
<b>Slika 3.5.</b> – Način na koji se obojani pikseli uključuju i isključuju na LCD televizoru.....	9
<b>Slika 3.6.</b> – Glavne komponente i princip rada LCD televizora.....	11
<b>Slika 3.7.</b> – Prikaz različitih kutova gledanja na 3 najčešće korištene vrste LCD panela. ....	12
<b>Slika 3.8.</b> – Razlika LCD televizora s fluorescentnom lampom i LED pozadinskim osvjetljenjem. ....	13
<b>Slika 3.9.</b> – Razlike LED pozadinskih osvjetljenja s obzirom na postavljanje LED dioda. ....	14
<b>Slika 3.10.</b> – Prikaz odnosa električnog polja i magnetske indukcije.....	15
<b>Slika 3.11.</b> – Prikaz polarizatora u funkciji propuštanja elektromagnetskog vala svjetlosti u samo jednom smjeru. ....	16
<b>Slika 3.12.</b> – Prikaz zadaće tranzistora u funkciji LCD televizora. ....	17
<b>Slika 4.1.</b> – Ilustracija mjerenja infracrvenom termografijom.....	18
<b>Slika 4.2.</b> – Prikaz infracrvenih i susjednih spektralnih područja te prošireni pogled na termalni infracrveni spektar.....	19
<b>Slika 4.3.</b> - Vrste prijenosa topline .....	20
<b>Slika 4.4.</b> – Infracrvena termalna kamera za dobivanje termalne slike, model FLIR E60 .....	21
<b>Slika 4.5.</b> – Omjer udaljenosti između mjernog instrumenta i mjerenog objekta .....	22
<b>Slika 4.6.</b> – Dijagram vrijednosti komponenata LCD televizora.....	25
<b>Slika 4.7.</b> – Ovisnost svjetlosne jakosti o vremenu starenja .....	25
<b>Slika 4.8.</b> – Sankey dijagram energetske učinkovitosti bijele LED diode.....	27
<b>Slika 4.9.</b> – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje. ....	28
<b>Slika 4.10.</b> – Prikaz isključenog LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru. ....	28
<b>Slika 4.11.</b> – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – direktno pozadinsko osvjetljenje. ....	29
<b>Slika 4.12.</b> – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje. ....	29
<b>Slika 4.13.</b> – Prikaz LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru – rubno pozadinsko osvjetljenje. ....	30

<b>Slika 4.14.</b> – Prikaz isključenog LCD LED televizora u vidljivom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektru. ....	30
<b>Slika 5.1.</b> – Prikaz emitiranja svjetlosti zaslona. ....	32
<b>Slika 5.2.</b> – Tipične vrijednosti spektralne osvjetljenosti za LCD zaslon .....	33
<b>Slika 5.3.</b> – Snimka eksperimentalnog postava i korištenih testnih slika neposredno prije fotometrijskog mjerenja. ....	34
<b>Slika 5.4.</b> – Reakcija ljudskog oka na svjetlost.....	37
<b>Slika 5.5.</b> – Konturni dijagrami vrijednosti luminacija iz tablica 5.5.-5.9. pri podešenih: a) 100 %, b) 80 %, c) 60 %, d) 40 % i e) 20 % pozadinskog osvjetljenja. ....	40
<b>Slika 5.6.</b> – 3D plošni grafikon raspodjele luminacije na 100% pozadinskog osvjetljenja pri mjerenjima testne slike šahovskog uzorka. ....	41
<b>Slika 5.7.</b> – Spektralni sastav mjerenog LG televizora.....	41
<b>Slika 5.8.</b> – Dijagram udjela primarnih boja testiranog LCD televizora. ....	42
<b>Slika 5.9.</b> – Dijagram srednjih vrijednosti luminacija po intenzitetima pozadinskog osvjetljenja. ....	42
<b>Slika 5.10.</b> – Prikaz načina mjerenja metodom fotometrije, obuhvatna mjerena površina (lijevo) te trigonometrijska skica izvoda formule za udaljenost (desno). ....	43

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 5.1.</b> – Radiometrijske i fotometrijske veličine te mjerne jedinice.....	32
<b>Tablica 5.2.</b> – Srednja vrijednosti luminacije ekrana temeljena na mjerenju šahovskog uzorka, najmanja i najveća vrijednost izmjerena u jednom polju te njihova odstupanja.....	35
<b>Tablica 5.3.</b> – Vrijednosti luminacije ekrana za jednu točku u slučajevima bijele, crvene, zelene i plave testne slike. ....	36
<b>Tablica 5.4.</b> – Vrijednosti luminacije ekrana te omjeri korištenja crvene, zelene i plave boje. ....	38
<b>Tablica 5.5.</b> – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 100 % pozadinskog osvjetljenja u $\text{cd/m}^2$ .....	38
<b>Tablica 5.6.</b> – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 80 % pozadinskog osvjetljenja u $\text{cd/m}^2$ .....	39
<b>Tablica 5.7.</b> – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 60 % pozadinskog osvjetljenja u $\text{cd/m}^2$ .....	39
<b>Tablica 5.8.</b> – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 40 % pozadinskog osvjetljenja u $\text{cd/m}^2$ .....	39
<b>Tablica 5.9.</b> – Vrijednosti luminacije 200 bijelih polja ekrana LG 37LG2000 na testnim slikama pri podešenju 20 % pozadinskog osvjetljenja u $\text{cd/m}^2$ .....	39
<b>Tablica 5.10.</b> – Luminacije četiri ekrana na prilagođenim udaljenostima – u postotcima su izraženi udjeli svake od RGB-a zasebno, a za bijelu udio u odnosu na prije puštanja u pogon. ...	44
<b>Tablica 5.11.</b> – Dijagram odnosa luminacije i veličine zaslona s godinom proizvodnje. ....	45

## **SAŽETAK**

U ovome radu zadatak je bio upoznavanje s komponentama i principom rada LCD televizora te na praktičnom mjerenju procijeniti stanje pozadinskog osvjetljenja. Nakon uvodnog dijela i povijesti tehnologije tekućih kristala, opisane su glavne komponente te princip rada svih LCD televizora te su objašnjeni različiti sustavi korištenja istih. Slijedi upoznavanje sa metodama infracrvene termografije i fotometrije koje će se zatim iskoristiti za praktična mjerenja vlastitih LCD televizora. Na temelju mjerenja po navedenim metodama, provodi se analiza i donosi zaključak o stanju LCD televizora.

Ključne riječi: LCD, LED, fotometrija, termografija.

## **ABSTRACT**

In this paper, the task was to get acquainted with the components and principles of operation of LCD TV and on a practical measurement to assess the state of the backlight unit. After the introductory part and the history of liquid crystal technologies, the main components and work principles of all LCD TVs are described and different systems of their use are explained. Afterwards is an introduction to the methods of infrared thermography and photometry, which will then be used for practical measurements of your own LCD TVs. Based on the measurements by the above methods, an analysis is performed and a conclusion is made about the condition of the LCD TV.

Key words: LCD, LED, photometry, thermography.

## **ŽIVOTOPIS**

Tin Kvesić je rođen 1995. u Osijeku. Ondje završava osnovnu školu Vladimira Becića s odličnim uspjehom. Za vrijeme osnovnoškolskog obrazovanja išao je na natjecanja iz geografije i matematike. Godine 2010. upisuje I. gimnaziju u Osijeku. Tokom osnovne i srednje škole sudjeluje na nizu natjecanja iz sporta. Godine 2014. upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku koji je u međuvremenu promijenio naziv u Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na 2. godini studija opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Godine 2018. stječe akademski naziv sveučilišni prvostupnik inženjer elektrotehnike te iste godine upisuje diplomski studij, smjer Održiva elektroenergetika na FERIT-u.

Aktivno se bavi sportom te je svake godine predstavljao fakultet na nogometnim i futsal natjecanjima te je nastupao za sveučilišnu ekipu Josipa Jurja Strossmayera. Predstavljao je Osječko sveučilište na Europskom sveučilišnom prvenstvu u nogometu koje se održalo u Osijeku 2015. godine. Izvan fakulteta je tijekom školovanja aktivno trenirao i igrao nogomet u 3. HNL Istok.