

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

**ZAVRŠNI RAD**

Ivica Žaja

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

Smjer: Tehničko-tehnološki

**ZAVRŠNI RAD**  
**PRIKAZ BOJE NA RAZLIČITIM**  
**ZASLONIMA**

Mentor:

Izv.prof. dr. sc. Lidija Mandić

Student:

Ivica Žaja

Zagreb, 2015. godina

## SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je usporedba prikaza boja na različitim zaslonima, trenutno dvjema najzastupljenijim tehnologijama, AMOLED-u i LCD-u. U teorijskom dijelu ovoga rada objašnjava se princip na kojem rade LCD zasloni koji se baziraju na dobivanju slike transmisijom i AMOLED zasloni koji generiraju sliku emisijom, njihove prednosti i nedostaci te pojmovi vezani uz boju i kolorimetriju.

Praktični dio ovoga rada obuhvaća generiranje testne karte koja će se mjeriti pomoću kolorimetra. Da bih uopće mogli usporediti boje na uređajima, potrebno je odabrati uređaje sa različitim zaslonima te osigurati potrebne uvjete za rad kako bi mogli dobiti precizne kolorimetrijske vrijednosti. Na temelju rezultata mjerenja izračunat će se kolorimetrijska razlika preko koje će se dobit uvid u to kako različita tehnologija utječe na različit prikaz boja, kao i na njihov gamut.

### **Ključne riječi:**

LCD, AMOLED, kolorimetrijska razlika, gamut

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	3
2. LCD zaslon.....	4
2.1    Tekući kristali.....	4
2.2    Princip rada LCD zaslona.....	6
3. AMOLED zaslon.....	8
3.1    Princip rada OLED-a.....	8
3.2    Princip rada AMOLED zaslona.....	10
4. Boja.....	12
4.1    Prostori boja.....	14
4.2    Kolorimetrija.....	16
5. Eksperimentalni dio.....	17
5.1    Tehničke karakteristike mobilnih uređaja i tableta.....	19
6. Rezultati i rasprava.....	23
6.1    Gamuti.....	25
7. Zaključak.....	26
8. Literatura.....	27

## 1. UVOD

Svakodnevni tehnološki napredak doveo je, između ostalog, do zastupljenosti široke palete različitih tehnologija zaslona: starijih CRT modela, danas najviše korištenih LCD zaslona pa do modernih AMOLED zaslona.

Kupovina pametnih telefona i tableta više nije tako olakšana kao i prije. U današnjem „ubrzanom“ svijetu, mobiteli i tableti imaju sve više utjecaja u našim životima zbog komunikacije, pretraživanja interneta, gledanjem filmova itd. Jedna od važnih stvari kod pametnih telefona i tableta, bez koje bi iskustvo prilikom korištenja bilo nezamislivo, je kvaliteta zaslona. Uz idealnu tehnologiju i razlučivost zaslona bitna stavka je i tehnologija na kojoj se zaslon temelji. Zaslone se nastoje što više približiti kvaliteti koju pružaju monitori u vidu kontrasta, zasićenosti boja itd. Jako bitno u ovome svemu je što se mobiteli ili tableti, u većini slučajeva, koriste u pokretu te se ne može utjecati na sve faktore (npr. jaka refleksija sunca, itd.) koji mogu pojaviti pri korištenju uređaja. U današnje vrijeme vodi se bitka između dvije tehnologije – AMOLED zaslona kojeg preferira Samsung i LCD zaslona kojeg preferiraju svi ostali, ponajprije Apple, HTC, Sony i LG. Svaki od zaslona ima neke svoje prednosti i nedostatke i nekog definitivnog odgovora koji je bolji, nema.

AMOLED definitivno može prikazati veći raspon boja nijansi plave i zelene, te može življe prikazati boje uz bolji kontrast. LCD zaslon ima vjerniji prikaz boja i jače maksimalno osvjetljenje što rezultira i boljom čitljivosti na otvorenome.

Cilj ovog rada je u pokazati kako različita tehnologija, odnosno različit odabir zaslona utječe i na različiti prikaz boja.

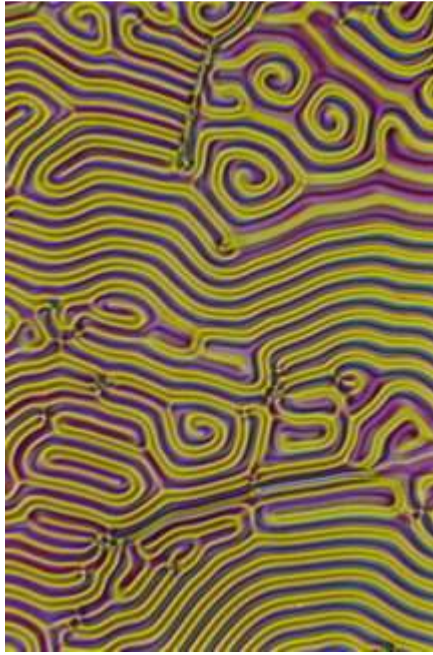
## 2. LCD zaslon

### 2.1 Tekući kristali

Tekuće kristale otkrio je 1888. godine austrijski botaničar Friedrich Reinitzer. Provodio je pokuse sa supstancom koju danas poznajemo pod nazivom "cholesteryl benzoat"[1]. Primijetio je da se zagrijavanjem te tvari na početku dobije neprozirna tekućina, koja se daljnjim porastom temperature potpuno razbistri. Prilikom hlađenja tekućina poprima plavu boju i na kraju se kristalizira. Nakon otkrića konzultirao se sa poznatim kristalografom iz Praga Van Zepharovichom koji mu je savjetovao da se, za pomoć u razjašnjavanju tih faznih prijelaza, obrati njemačkom fizičaru Ottu Lehmannu. I tako su počela prva istraživanja tog novog materijala. Tekući kristali dobili su ime prema činjenici da su njihove molekule kristali, ali tvore tekućinu umjesto krutu tvar. Sam naziv "tekući kristal" prvi put spomenuo je Otto Lehmann 1889. godine.

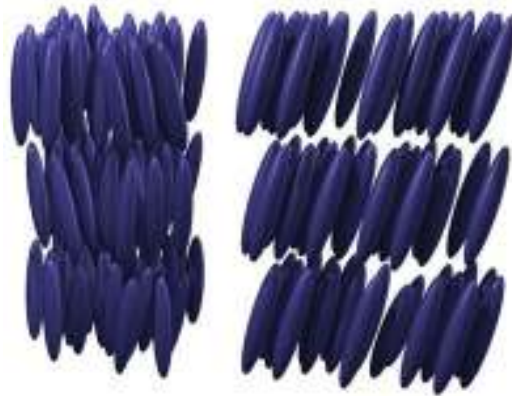
U 30-tim godinama prošlog stoljeća europski znanstvenici su već potpuno shvatili fiziku i kemiju tekućih kristala, ali trebalo je proći još puno vremena do prvih funkcionalnih prototipova zaslona koje je razvila američka tvrtka RCA 1968. godine.

Već nekoliko godina kasnije su se pojavili i prvi komercijalni proizvodi koji su za prikaz koristili LCD zaslon - satovi i kalkulatori.



Slika 1. Tekući kristal gledan mikroskopom

Izvor: [http://news.rice.edu/wp-content/uploads/2013/04/0429\\_VERDUZCO-1-web.jpg](http://news.rice.edu/wp-content/uploads/2013/04/0429_VERDUZCO-1-web.jpg)



Slika 2. Struktura tekućih kristala

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid\\_crystal#/media/File:LiquidCrystal-MesogenOrder-SmecticPhases.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal#/media/File:LiquidCrystal-MesogenOrder-SmecticPhases.jpg)

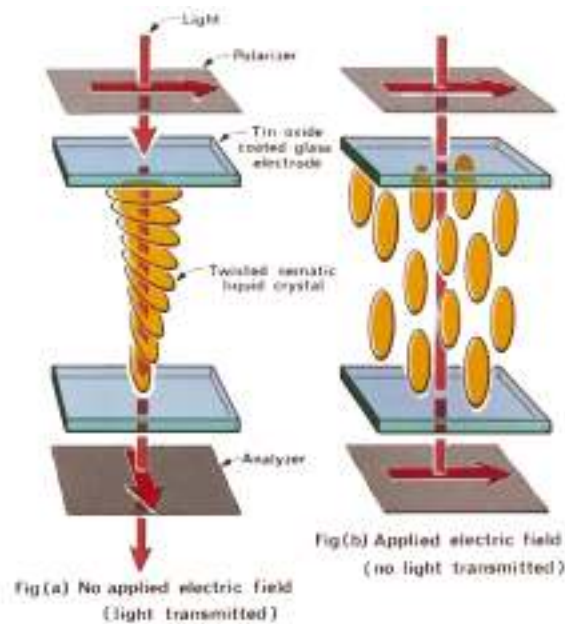
## 2.2 Princip rada LCD zaslona

Tekući kristali imaju nekoliko značajnih svojstava koji omogućuju da ih upotrijebimo za izradu zaslona. LCD zasloni se sastoje od dva polarizirajuća filtra čije su linije pod pravim kutom. Između filtra su molekule kristala koje imaju osobinu da se zakreću ako postoji potencijal između filtara. Filtri propuštaju samo zrake svjetlosti koje su paralelne s njegovim linijama. Izvor svjetlosti nalazi se iza prvog filtra. Tekući sloj kristala između filtra ima tako postavljene molekule da bez prisustva razlike potencijala između ploča filtra dolazi do zakreta polarizacije zraka svjetla za  $90^\circ$  i zrake svjetla nesmetano prolaze kroz drugi filter. Uz prisustvo razlike potencijala između ploča filtra molekule kristala se preslože tako da nema zakreta zraka svjetlosti za  $90^\circ$  te zrake svjetla ne mogu proći kroz drugi polarizirajući filter.

Na slici 3 je prikazan rad LCD zaslona. Na prvi polarizirajući filter pada svjetlost. Kada nije priključen napon (slika 3a) ove su dvije površine okrenute pod  $90$  stupnjeva jedna prema drugoj. Iako su u tom slučaju osi polarizacije također okomite jedna na drugu, kroz tu točku prolazi svjetlost jer se molekule tekućeg kristala zakreću po osi kojom svjetlost prolazi. Kako zakret čini punih  $90$  stupnjeva u odnosu na os polarizacije, svjetlost na drugi polarizirajući filter ponovno pada pod ispravnim kutom i svjetlost prolazi [2].

Pod utjecajem napona (slika 3b), molekule tekućeg kristala se izravnavaju i iz spiralnog oblika prelaze u linearni. Ovim ispravljanjem, osi polarizacije se zakreću i molekule kristala sada na drugi polarizirajući filter ponovno padaju pod istim kutom pod kojim su bile nakon prolaska kroz prvi filter. Kako su ova dva filtra okomita, svjetlost ne može proći dalje [2].

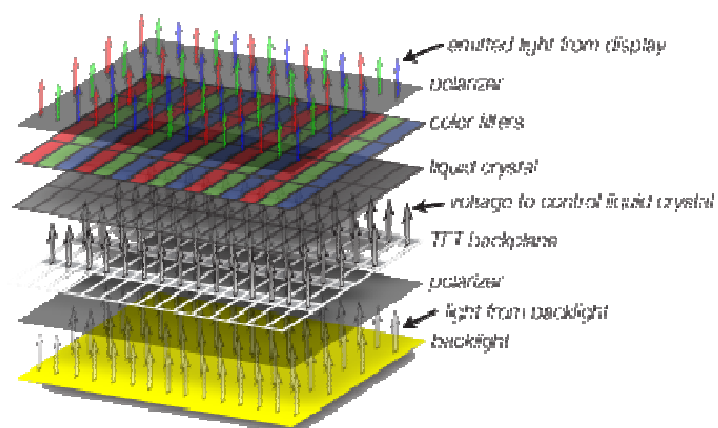




Slika 3. Polarizirajući filtri sa tekućim kristalima između njih

Izvor: <http://www.pctechguide.com>

Kod zaslona u boji, još imamo i filtre za svaku od tri osnovne boje. Tada tri susjedna podpiksela (crveni, zeleni i plavi) čine jedan stvarni piksel. Na slici 4 može se vidjeti shematski prikaz LCD zaslona.



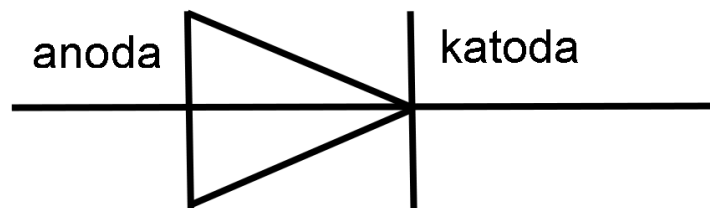
Slika 4. Shematski prikaz LCD zaslona

Izvor: <http://www.ignisinovation.com/technology/about-amoled-displays>

### 3. AMOLED zaslon

#### 3.1 Princip rada OLED-a

Dioda (slika 6) je elektronički element s dva priključka: anodom(A) i katodom(K). Glavno je svojstvo diode vođenje struje samo u jednom smjeru.



Slika 6. Dioda

Izvor: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioda.jpg>

Organski LED ili OLED je dioda kod koje se koriste organski materijali gdje prevladavaju atomi ugljika i vodika. Kada se na elektrode dovede napon od 2V do 10V organski sloj proizvodi svjetlost. OLED ekrani su vrsta emisijskih ekrana što znači da kod prikaza ne koriste nikakvo pozadinsko osvjetljenje nego oni sami emitiraju svjetlost. Sastoje se od četiri vrlo tanka organska sloja složena jedan na drugog debljine od približno 100nm, koji se nalaze između dvije nabijene elektrode [3].

Da bi se dobila pojedina boja, organski sloj se dodatno dopira malom količinom fluorescentnih molekula određene boje.

Kad govorimo o OLED ekranima također postoje dvije vrste a to su pasivni i aktivni. Pasivni OLED ekrani (slika 7) se koriste kod jeftinih alfanumeričkih ekrana koji ne zahtijevaju veliku brzinu obnove prikaza i kvalitetu, dok se aktivni koriste (slika 8) u uređajima namijenjenim u multimediji.



Slika 7. Pasivni OLED zaslon

Izvor: <http://www.oled-info.com/pmoled>



Slika 8. Aktivni OLED zaslon

Izvor: <http://www.oled-info.com/amoled>

Kako bi se prilagodili potrebama uređaja, postoji nekoliko različitih primjera

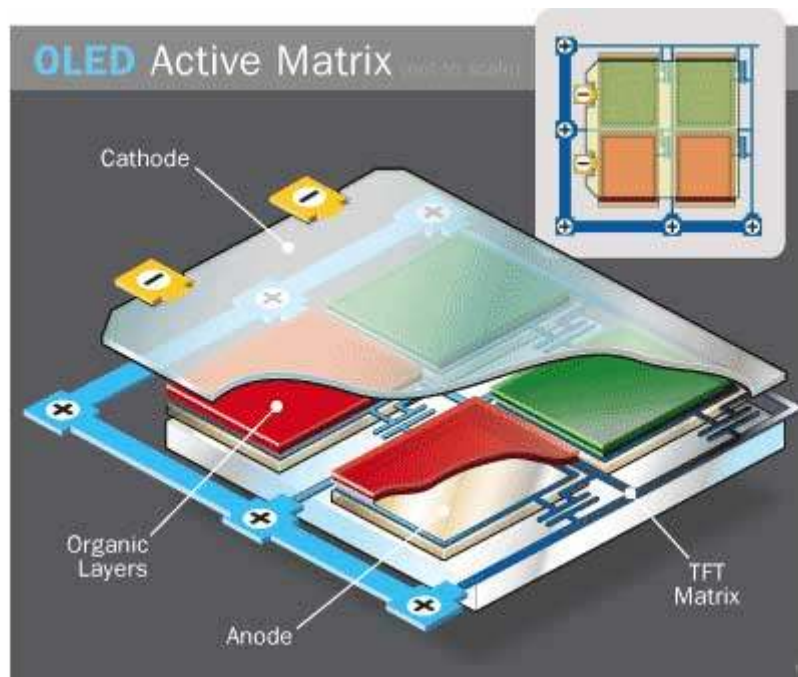
OLED-a, kao što su:

- OLED s pasivnom matricom
- OLED s aktivnom matricom
- OLED s transparentnom matricom
- OLED s poluprozirnom matricom
- OLED s otpornom matricom
- OLED s bijelom matricom

### 3.1 Princip rada Amoled zaslona

OLED sa aktivnom matricom (AMOLED) je naprednija inačica OLED-a te je dosta zastupljen pri izradi mobilnih uređaja i tableta. AMOLED (slika 9) zaslone se sastoje od tranzistora koji kontroliraju napon koji dolazi na svjetleće diode koje imaju funkciju kreiranja svjetla. Kako one same proizvode svjetlo, ovakav tip zaslona nema potrebu za pozadinskim osvjetljenjem kao što je to slučaj sa LCD zaslonima. Samim time, troše i manje energije u usporedbi sa LCD zaslonima. Zbog sve većeg zahtjeva kupaca za modernijim i tanjim zaslonima, sve više proizvođača odabire baš ovakav tip zaslona za izradu.

AMOLED zaslone mogu postići jako visok kontrast. Npr. ako je određeni piksel crne boje, dioda koja je zadužena za osvjetljenje tog piksela u potpunosti je isključena tako da se tu ne prikazuje ništa. To znači da na mjestu koje mora biti crno dioda ne emitira ništa i dobiva se vrlo realan prikaz crne boje [4].



Slika 9. Struktura AMOLED zaslona

Izvor: <http://ounae.com/img/ounae/2009/02/pantalla-amoled.jpg>

Osim aktivne matrice, postoje OLED zasloni i sa pasivnom matricom (PMOLED). Oni funkcioniraju na način da se za osvjtljenje svakog pojedinog piksela šalje električna energija u stupac i red gdje se on nalazi. Piksela će jače svijetliti što se više električne energije pošalje. AMOLED je po tom pitanju sličan, ali i malo drugačiji jer kod njega svaki piksel ima svoj TFT (thin-film-transistor). Uloga tranzistora je da služi kao prekidač koji kontrolira koliko se struje šalje u piksel, odnosno da li će piksel svijetliti i koliko jako.

Velika prednost AMOLED zaslona koju je bitno naglasiti je ta da se na sunčevom svijetlu ekran puno kvalitetnije vidi nego kod LCD zaslona jer ne dolazi do tolike refleksije svjetlosti od samog zaslona [4]. Kako su mobiteli dosta korišteni u pokretu, ako dolazi do velike refleksije svjetlosti od zaslona, to može predstavljati problem.

Kao i ostali zasloni, i AMOLED ima nedostatke. Najveći od njih je cijena izrade zaslona koja može biti vrlo visoka u odnosu na LCD. Isto tako treba napomenuti problem sa diodama koje su potrebne za osvjtljenje pojedinog piksela. One se izrađuju od organskih materijala koji mogu imati određene kvalitativne razlike. Te razlike utječu na intenzitet svjetla kojeg diode proizvode pa samim time i na realnost prikaza boja. U slučaju da jedna dioda ima veći intenzitet, ona može prouzročiti da ekran poprimi drugačiju nijansu boje.

Postoje nekoliko modela AMOLED zaslona :

- Super AMOLED
- Super AMOLED Advanced
- Super AMOLED Plus - Pen Tile
- HD Super AMOLED
- Full HD Super AMOLED

Trenutno se sa ovom tehnologijom radi na izradi fleksibilnih uređaja, stoga možemo očekivati velike promjene i napretke u budućnosti.

## 4. BOJA

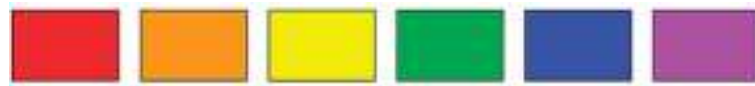
Boja se može definirati kao osjećaj koji u mozgu izaziva svjetlost emitirana od nekog izvora ili reflektirana s površine nekog tijela. Doživljaj boje ovisan je o tri faktora [5]:

- spektralnom sastavu svjetla koji pada na promatrani predmet
- molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira
- čovjekovim osjetom boje, kroz oči i mozak

Postoje tri atributa koji uže definiraju svaku boju:

- ton boje
- zasićenje
- svjetlina

Ton boje (slika 10) označava vrstu boje. To je zapravo atribut vizualnog doživljaja prema kojem točno definiramo pojedinu boju ( npr. crvena, plava, žuta, itd.).



Slika 10. Ton boje

Izvor: [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%201.dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%201.dio.pdf)

Da bi se objasnili pojmovi zasićenje i svjetlina, potrebno je boje podijeliti u dvije skupine. U prvoj skupini nalaze se boje kao što su crvena, narančasta, žuta, zelena, plava itd., koje se nazivaju kromatskim bojama (slika 11).



Slika 11. Kromatske boje

Izvor: <http://media-x.hr/kako-postici-harmoniju-boja-na-vasoj-web-stranici/>

U drugoj skupini nalaze se crna, siva i bijela, koje se nazivaju akromatskim bojama (slika 12).



Slika 12. Akromatske boje

Izvor: <http://media-x.hr/kako-postici-harmoniju-boja-na-vasoj-web-stranici/>

Neke kromatske boje su tamnije ili svjetlije od drugih i moguće je usporediti sličnost takvih boja sa akromatskim bojama od crne, sive pa do bijele. Ta se osobina naziva svjetlina (slika 13). To je kvaliteta kojom se razlikuje svjetla boja od tamne boje.



Slika 13. Svjetlina boje

Izvor: <http://media-x.hr/kako-postici-harmoniju-boja-na-vasoj-web-stranici/>

Zasićenje (slika 14) je udio pojedinih valnih duljina u nekom tonu boje.



Slika 14. Zasićenje boje

Izvor: Izvor: <http://media-x.hr/kako-postici-harmoniju-boja-na-vasoj-web-stranici/>

Boja nastaje kada svjetlost karakterističnog spektra pobudi receptore u mrežnici oka. Reflektirano svjetlo dolazi do ljudskog oka i dalje se prenosi u receptore u oku, pomoću nervnih stanica do mozga gdje nastaje doživljaj. U oku postoje 2 vrste fotoosjetljivih stanica:

Štapići - razmješteni prema vanjskom rubu mrežnice, osjetljivi su na male intenzitete svjetla, te su odgovorni za svjetlinu boje

Čunjići - nalaze se na malom, središnjem prostoru mrežnice, poznatom kao žuta pjega i služe za doživljaj boja

## 4.1 Prostori boja

Prostor boja je način pomoću kojeg se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje. Boja je najčešće definirana pomoću 3 koordinate (parametra). Ti parametri određuju poziciju boje unutar prostora boja koji se koristi. Prostori boja mogu biti ovisni i neovisni o uređaju. Prostori ovisni o uređaju koriste se u tehnologiji, takvi prostori su RGB, za prikaz na monitoru, i CMYK koji se koristi u tisku. Kada se boje definirane u tim prostorima koriste na drugom uređaju, više nisu iste kao na uređaju gdje su bile definirane. Zbog tog razloga, razvijen je CIELAB prostor boja, koji uključuje osnovne norme i postupke mjerenja boja te je neovisan o uređaju, a samim time i preciznije opisuje boju. CIE metrika uključuje sve faktore koji utječu na doživljaj boje i slaže se sa ljudskom percepcijom. Ovaj prostor je nastao kao rezultat rada kolorimetrijskih znanstvenika kojima je bio cilj dobivanje linearnog prostora boja koji će se dobro slagati sa ljudskim opažanjem boja te koji će pokrivati cijeli spektar vidljiv našem oku. CIE Lab je trodimenzionalni sustav kod kojeg  $a^*$  i  $b^*$  predstavljaju kromatske osi, a  $L^*$  svjetlinu, odnosno akromatsku os (slika 15).  $L^*$  vrijednosti su u rasponu od 0 do 100 pri čemu 0 predstavlja crnu, dok 100 predstavlja bijelu. Vrijednost  $a^*$  ima negativne vrijednosti (zeleno) te pozitivne (crveno). Vrijednost  $b^*$  funkcioniра isto kao i  $a^*$ , samo što je njezina negativna vrijednost plavo, a pozitivna vrijednost žuto.

Prednost ovog prostora je što dobro dočarava vizualnu razliku između boja tj. geometrijsku udaljenost. Geometrijska udaljenost između neke dvije boje se naziva kolorimetrijska razlika ( $\Delta E$ ). Definirana je kao razlika između koordinata za dvije boje, odnosno koliko reprodukcija odstupa od originala. To bi značilo da li reproducirana boja „zadovoljava“ ili previše odstupa od „tražene“. Zbog toga postoje kriteriji prema kojima se može ocijeniti odstupanje boja [6]:

$\Delta E < 0,2$  razlika boja se ne vidi

$\Delta E = (0,2-1)$  razlika boja se primjećuje

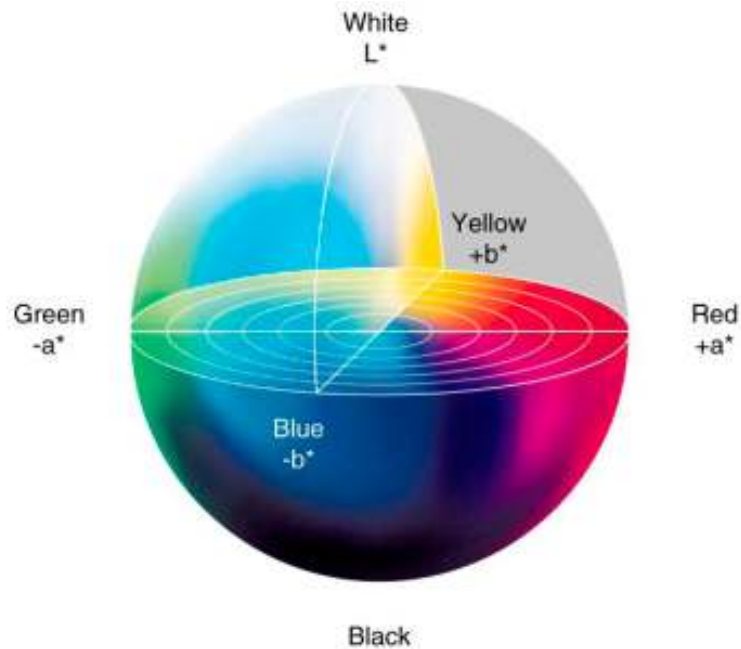
$\Delta E = (1-3)$  razlika boja se vidi

$\Delta E = (3,6)$  razlika boja se dobro vidi

$\Delta E > 6$  očigledna odstupanja



Ovaj prostor boje (slika 16) sadrži sve perceptivne boje te ima veći gamut od ostalih modela (RGB i CMYK). Najbitnija karakteristika CIE Lab-a sustava je neovisnost o uređaju.



Slika 16. CIE Lab prostor boja

Izvor: <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/11943/htm>

Od ostalih sustava mogu se spomenuti [6]:

- Sustavi bazirani na psihološkim atributima boje:

Munsellov, Natural Colour System-NCS

- Sustavi bazirani na miješanju boje svjetla i pigmenta :

Ostwaldov sustav, Pantone

-Objektivni sustavi bazirani na CIE zakonitostima :

CIE XYZ, CIE LUV

## 4.2 Kolorimetrija

Kolorimetrija je grana nauke o boji koja se bavi brojčanim određivanjem boje u odnosu na vizualni podražaj. Mjerenje boje je bitno kod kontrola na reprodukcijama. Mjerni uređaji koji se koriste su denzitometar, kolorimetar te spektrofotometar [7].

Kolorimetar (slika 17) je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja (poput ljudskog faktora). Mjerenje se temelji na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem boja aditivne sinteze. Jedna od najvažnijih prednosti kolorimetra je da omogućava izračunavanje boja na bazi razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti.



Slika 17. Kolorimetar CS-200

Izvor: <http://sensing.konicaminolta.asia/products/cs-200-luminance-and-color-meter/>

## 5. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio rada se sastojao od mjerenja boja na 4 različita uređaja. Prije početka samog mjerenja, osigurani su uvjeti za rad: zamračena je prostorija kako ne bi vanjski utjecaji poput sunčeve svjetlosti utjecali na uređaje, a samim time i na dobivene vrijednosti tokom mjerenja. Uređaji su se nalazili na 40 cm udaljenosti od kolorimetra, koji je bio fiksiran na stativ, kako se ne bi pomaknuo tokom mjerenja.

Na uređajima na kojima se trebalo vršiti mjerenje, pomoću web preglednika, pokrenuta je skripta ChangeColors. Skripta nudi mogućnosti prikazivanja boja u vremenskom periodu i broj uzoraka. Vrijeme prikazivanja boja je postavljena na 10 sekundi, a broj uzoraka na 27. Svjetlina na svakom uređaju je podešena na maksimalnu moguću te je svaki uređaj imao instaliranu aplikaciju Caffeine kako bi se izbjegla mogućnost gašenja zaslona tokom mjerenja. Skripta je generirala boje koje su se izmjenjivale, a za to vrijeme je kolorimetar zapisivao dobivene vrijednosti boja u tablicu.

Korišteni su slijedeći uređaji :

1. iPhone 4S
2. Samsung Galaxy S4
3. iPad 4
4. Huawei S7-931w

Samsung Galaxy S4 je uređaj koji koristi AMOLED tehnologiju, dok ostali uređaji kao iPad 4, Huawei S7-931w i iPhone 4S koriste LCD tehnologiju.

Zbog potreba mjerenja, generirana je testna karta koja je mjerena pomoću kolorimetra CS-200. Prikaz uzoraka i RGB vrijednosti prikazane su tablici 1.

	R	G	B
1	0	0	0
2	128	0	0
3	255	0	0
4	0	128	0
5	128	128	0
6	255	128	0
7	0	255	0
8	128	255	0
9	255	255	0
10	0	0	128
11	128	0	128
12	255	0	128
13	0	128	128
14	128	128	128
15	255	128	128
16	0	255	128
17	128	255	128
18	255	255	128
19	0	0	255
20	128	0	255
21	255	0	255
22	0	128	255
23	128	128	255
24	255	128	255
25	0	255	255
26	128	255	255
27	255	255	255

Tablica 1. RGB vrijednosti uzoraka

## 5.1 Tehničke karakteristike mobilnih uređaja i tableta

NETWORK	<b>Tehnology</b>	GSM/HSPA
LAUNCH	<b>Announced</b>	2013, March
BODY	<b>Dimensions</b> <b>Weight</b> <b>SIM</b>	136.6 x 69.8 x 7.9 mm (5.38 x 2.75 x 0.31 in) 130g Micro-SIM
DISPLAY	<b>Type</b> <b>Size</b> <b>Resolution</b> <b>Multitouch</b>	Super AMOLED touchscreen 5.0 inches 1080 × 1920 pixels Yes
PLATFORM	<b>OS</b> <b>CPU</b> <b>GPU</b>	Android OS, v4.2.2 Quad-core 1.6 GHZ Cortex-A15 PowerVR SGX554MP3
MEMORY	<b>Card slot</b> <b>Internal</b>	microSD, up to 64 GB 16/32/64 GB, 2GB RAM
CAMERA	<b>Primary</b> <b>Secondary</b>	13 MP, 4128 × 3096 pixels, autofocus, LED flash 2 MP, dual video call
SOUND	<b>Alert types</b> <b>Loudspeaker</b> <b>3.5 mm jack</b>	Vibration; MP3 Yes Yes
COMMS	<b>WLAN</b> <b>Bluetooth</b> <b>GPS</b> <b>NFC</b> <b>Infrared port</b> <b>Radio</b> <b>USB</b>	Wi-Fi 802.11, dual band, Wi-Fi Direct, DLNA, hotspot v4.0 Yes Yes Yes No microUSB v2.0, USB Host
FEATURES	<b>Sensors</b> <b>Messaging</b> <b>Browser</b> <b>Java</b>	Accelerometer, gyro, barometer, temperature, humidity SMS, MMS, Email HTML5 NO
BATTERY	<b>Stand-by</b> <b>Talk time</b> <b>Music play</b>	Li-Ion 2600 mAh battery Up to 370h (3G) Up to 17h (3G) Up to 62h
MISC	<b>Colors</b>	White Frost, Black Mist, Artic Blue

### Samsung Galaxy S4

NETWORK	<b>Tehnology</b>	GSM/CDMA/HSPA
LAUNCH	<b>Announced</b>	2011,October
BODY	<b>Dimensions</b> <b>Weight</b> <b>SIM</b>	115.2 x 58.6 x 9.3 mm (4.54 x 2.31 x 0.37in) 140g Micro-SIM
DISPLAY	<b>Type</b> <b>Size</b> <b>Resolution</b> <b>Multitouch</b>	IPS LCD touchscreen 3.5inches 640 × 960 pixels Yes
PLATFORM	<b>OS</b> <b>CPU</b> <b>GPU</b>	iOS 5 Dual-core 1. GHZ Cortex-A9 PowerVR SGX543MP2
MEMORY	<b>Card slot</b> <b>Internal</b>	NO 16/32/64 GB, 512 MB RAM
CAMERA	<b>Primary</b> <b>Secondary</b>	8 MP, 3264 × 2448pixels, autofocus, LED flash VGA, videocalling over Wi-Fi and 3g
SOUND	<b>Alert types</b> <b>Loudspeaker</b> <b>3.5 mm jack</b>	Vibration Yes Yes
COMMS	<b>WLAN</b> <b>Bluetooth</b> <b>GPS</b> <b>Radio</b> <b>USB</b>	Wi-Fi 802.11, hotspot v4.0 Yes No v2.0
FEATURES	<b>Sensors</b> <b>Messaging</b> <b>Browser</b> <b>Java</b>	Accelerometer, gyro, compass SMS, MMS, Email HTML5 NO
BATTERY	<b>Stand-by</b> <b>Talk time</b> <b>Music play</b>	Non-removable Li-Po 1432 mAh battery Up to 200h (2G) Up to 14h (2G) Up to 40h
MISC	<b>Colors</b>	Black, White

### Apple iPhone 4s

NETWORK	<b>Tehnology</b>	GSM/HSPA
LAUNCH	<b>Announced</b>	2011, March
BODY	<b>Dimensions</b> <b>Weight</b> <b>SIM</b>	241.2 x 185.7 x 9.4 mm (9.50 x 7.31 x 0.37in) 662g Micro-SIM
DISPLAY	<b>Type</b> <b>Size</b> <b>Resolution</b> <b>Multitouch</b>	IPS LCD touchscreen 9.7inches 1536 × 2048pixels Yes
PLATFORM	<b>OS</b> <b>CPU</b> <b>GPU</b>	iOS6 Dual-core 1. GHZ PowerVR SGX543MP2
MEMORY	<b>Card slot</b> <b>Internal</b>	NO 16/32/64 GB, 1 GB RAM
CAMERA	<b>Primary</b> <b>Secondary</b>	5 MP, 2592 × 1944pixels 1.2 MP
SOUND	<b>Alert types</b> <b>Loudspeaker</b> <b>3.5 mm jack</b>	N/A Yes Yes
COMMS	<b>WLAN</b> <b>Bluetooth</b> <b>GPS</b> <b>Radio</b> <b>USB</b>	Wi-Fi 802.11, hotspot V4.0 Yes No v2.0
FEATURES	<b>Sensors</b> <b>Messaging</b> <b>Browser</b> <b>Java</b>	Accelerometer, gyro, compass iMessage, Email HTML5 NO
BATTERY	<b>Stand-by</b> <b>Talk time</b>	Non-removable Li-Po 11560 mAh battery Up to 720h Up to 9h
MISC	<b>Colors</b>	Black, White

### Apple iPad 4

NETWORK	<b>Tehnology</b>	GSM/HSPA
LAUNCH	<b>Announced</b>	2012,July
BODY	<b>Dimensions</b>	190.2 x 124 x 10.5 mm
	<b>Weight</b>	360g
DISPLAY	<b>Type</b>	IPS LCD touchscreen
	<b>Size</b>	7inches
	<b>Resolution</b>	1024 × 600pixels
	<b>Multitouch</b>	Yes
PLATFORM	<b>OS</b>	Android 4.0
	<b>CPU</b>	Qualcomm 1.0 GHZ
MEMORY	<b>Card slot</b>	Up to 32 GB
	<b>Internal</b>	8 GB, 1GB RAM
CAMERA	<b>Primary</b>	3.2 MP
SOUND	<b>Alert types</b>	Vibration
	<b>Loudspeaker</b>	Yes
	<b>3.5 mm jack</b>	Yes
COMMS	<b>WLAN</b>	Wi-Fi 802.11
	<b>Bluetooth</b>	v3.0
	<b>GPS</b>	Yes
	<b>Radio</b>	No
	<b>USB</b>	v2.0
FEATURES	<b>Sensors</b>	Accelerometer, gyro, compass
	<b>Messaging</b>	SMS, MMS, Email
	<b>Browser</b>	HTML5
	<b>Java</b>	NO
BATTERY		Non-removable Li-Po 4100 mAh battery
	<b>Stand-by</b>	Over6h
MISC	<b>Colors</b>	Black, Silver

Huawei S7-931w



## 6. REZULTATI I RASPRAVA

Na temelju vrijednosti testne karte i izmjerenih vrijednosti na uređajima izračunata je kolorimetrijska razlika. Rezultati su prikazani u tablici 2.

	$\Delta E(\text{iPad4})$	$\Delta E(\text{Huawei})$	$\Delta E(\text{GalaxyS4})$	$\Delta E(\text{iPhone4s})$
1	2,65	4,71	0,16	6,94
2	3,34	19,11	38,60	32,28
3	4,66	29,46	82,97	58,35
4	10,83	41,18	68,08	51,97
5	9,88	42,78	51,78	52,09
6	7,20	42,49	73,94	64,39
7	21,87	68,2	128,50	92,14
8	20,24	68,12	116,23	90,22
9	16,73	66,68	102,80	90,42
10	7,85	43,93	72,92	54,91
11	8,94	37,04	45,94	52,47
12	9,17	37,77	50,51	57,90
13	8,76	39,48	41,99	56,78
14	9,00	41,27	28,81	55,74
15	9,50	44,21	38,27	54,38
16	19,09	56,74	103,50	81,78
17	17,49	56,95	88,65	79,32
18	15,64	59,22	80,39	72,69
19	234,33	254,37	280,62	277,63
20	14,80	65,51	91,52	79,09
21	23,92	52,43	58,03	67,69
22	12,36	60,02	80,93	74,21
23	12,37	61,54	78,87	71,94
24	12,53	62,44	57,45	80,39
25	14,21	62,72	70,45	63,30
26	14,54	63,68	74,66	66,30
27	14,59	65,84	32,46	87,53

Tablica 2

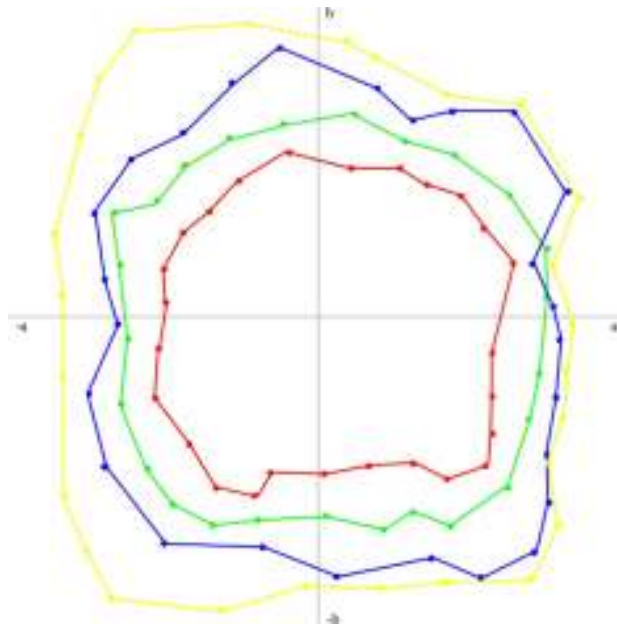
Iz tablice se može vidjeti kako iPad 4 ima najmanja odstupanja. To se moglo i očekivati s obzirom da koristi LCD tehnologiju koja može vjernije prikazati boje.

Kod prvog mjerenja se vidi da ne postiže baš toliko realnu crnu boju što je isto još jedna od karakteristika takvih zaslona. Slijedeći uređaj koji ga prati je Huawei koji isto tako koristi LCD tehnologiju. Ovaj uređaj je pokazao malo veća odstupanja, a pogotovo se to odnosi na zadnja mjerenja (22-27) kod svijetlo-plavih i ljubičastih tonova boja. Još jedan iz grupe koja koristi LCD zaslon je iPhone 4s. On je pokazao najveća odstupanja od ova 3 uređaja. Najviše se ta odstupanja primijete kod tonova zelene i žute boje (7,8,9,16,17,18), pogotovo u usporedbi sa iPadom. Zadnji uređaj koji je pokazao najveća odstupanja od ovih uređaja je Samsung Galaxy S4 koji koristi AMOLED tehnologiju. Za ovu tehnologiju je karakteristično da pokazuje odstupanja jer ne prikazuje toliko vjerno boje kao prethodni uređaji. Kao prednost u odnosu na ostale uređaje je realniji prikaz crne boje. Ako je neki piksel crne boje, dioda koja osvjetljava taj piksel se isključuje tako da se ništa ne prikazuje. Isto tako može spomenuti da Samsung Galaxy S4 može prikazati veći raspon nijansi plave i zelene boje (7,8,10) u odnosu na ostale uređaje.

## 6.1 Gamuti

Gamut predstavlja opseg boja koji neki uređaj ili prostor može reproducirati. Različiti uređaji imaju različit gamut boja. Kvaliteta reprodukcije uređaja ovisi o opsegu gamuta. Ukoliko je gamut veći, to je veća mogućnost i preciznost reprodukcije. U suprotnom, ako je gamut manji, onda može doći do grešaka u reprodukciji jer određene boje izlaze iz gamuta te stoga neće biti reproducirane, nego će doći neka druga slična boja koja se ne podudara sa traženom bojom.

Na slici 18 prikazani su gamuti uređaja.



Slika 18. Gamuti

Crvenom bojom je označen gamut iPad-a 4. Slijede ga Huawei (zelena boja), zatim iPhone 4s (plava boja) te Samsung Galaxy S4 (žuta boja). Može se zaključiti da uređaji sa LCD zaslonom imaju manji gamut, dok Samsung koji koristi AMOLED tehnologiju ima veći gamut od ostalih. To se posebno da primijetiti kod zelene i plave boje, gdje je očigledna razlika u mogućnosti prikaza tonova tih boja.

## **7. ZAKLJUČAK**

U današnjem vremenu, kad tehnologija ima sve veći utjecaj u našim životima, vodeće tehnološke kompanije mnogo truda i vremena ulažu u mobilne i prijenosne uređaje. Kako sve više vremena i stvari obavljamo preko takvih uređaja, jako bitan dio njih je zaslona i tehnologija na kojoj funkcionira.

U ovom radu je prikazano kako različita tehnologija nudi i različiti prikaz boja, odnosno kolorimetrijska odstupanja svakog pojedinog uređaja. Uređaji koji koriste LCD tehnologiju su, prema rezultatima mjerenja, pokazali vjerniji prikaz boja originala, no isto tako i manji raspon boja, odnosno gamut. Nedostatak im je što koriste pozadinsko osvjetljenje koje utječe na trošak energije. S druge strane, Samsung koji koristi AMOLED tehnologiju, pokazao je bitno veće mogućnosti kod prikaza boja. Posebno se to odnosi na veći raspon tonova kod zelene i plave. Isto tako treba naglasiti bolji kontrast i bolji prikaz crne boje, što predstavlja prednost, gledajući kontrast.

Svaki od zaslona ima neke svoje prednosti i nedostatke i nekog definitivnog odgovora koji je bolji, nema. Sve ovisi o krajnjem korisniku. Ako mu je bitna svjetlina i realan prikaz boja onda će odabrati LCD, a ako mu je bitan kontrast i življi prikaz boja onda je njegov odabir AMOLED.

## 8. LITERATURA

1. [http://nobelprize.org/educational/physics/liquid\\_crystals/history/](http://nobelprize.org/educational/physics/liquid_crystals/history/)
2. <http://electronics.howstuffworks.com/lcd4.htm>
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/OLED>
4. A. K. Bhowmik, Z. Li, P. J. Bos (2008). Mobile displays, Technology and Applications, John Wiley & Sons, England
5. Predavanje iz kolegija Reprodukcijska slika, grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na:  
[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%201.dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%201.dio.pdf)
6. Predavanje iz kolegija Reprodukcijska slika, grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na:  
[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Osnove%20o%20boji%20-%20drugi%20dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Osnove%20o%20boji%20-%20drugi%20dio.pdf)
7. Predavanje iz kolegija Reprodukcijska slika, grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na:  
[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%203.dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%203.dio.pdf)