

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

HRVOJE KANCIR

USPOREDBA KOLORIMETRIJSKIH
KARAKTERISTIKA LCD I AMOLED
TEHNOLOGIJA ZASLONA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2014.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

HRVOJE KANCIR

USPOREDBA KOLORIMETRIJSKIH
KARAKTERISTIKA LCD I AMOLED
TEHNOLOGIJA ZASLONA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Ante Poljičak

Student:

Hrvoje Kancir

ZAGREB, 2014.

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Anti Poljičaku koji je svojim znanjem i stručnim savjetima pomogao u izradi ovog diplomskog rada i pritom pokazao iznimnu količinu volje i strpljenja te time nemjerljivo pridonio samom radu.

Želim se zahvaliti svojoj obitelji koja mi je tokom čitavog školovanja bila potpora i poticaj za ostvarivanje ciljeva.

I na kraju, želim se zahvaliti svojim kolegama, prijateljima i djevojci koji su mi provedeno vrijeme na Grafičkom fakultetu uljepšali svojim prisustvom, poticali me na rad te učinili to vrijeme nezaboravnim dijelom mog života.

Sažetak

Predmet ovog diplomskog rada je usporedba dvoju najzastupljenijih tehnologija koje se koriste kod izrade zaslona za mobilne uređaje, AMOLED-a i AMLCD-a. Zadatak je prikazati sve prednosti i mane svake pojedine tehnologije mjernom metodom. Uvodni se dio bavi općim stvarima vezanim za kolorimetriju i tehnologije prikaza informacije na zaslonu kako bi se objasnili neki ključni pojmovi koji su usko vezani uz samo istraživanje.

Kako bi se mjerenje moglo održati potrebno je izabrati mobilne uređaje i u kontroliranim uvjetima spektrometrom izmjeriti kolorimetrijske vrijednosti. Nakon toga će se dobivene brojke obraditi funkcijama u programskom okruženju MATLAB. Uspoređivat će se kolorimetrijske razlike svakog uređaja izmjerenim pod kutem od 0 i 30 stupnjeva, gamuti uređaja za zadana mjerenja te će se uspoređivati dobivene vrijednosti sa vrijednostima generirane skripte na mjerenim uređajima. Kako bi se mogli kvalitetnije usporediti dobiveni rezultati prikazati će se tablicama i grafikonima.

Ključne riječi:

AMOLED, AMLCD, gamut, kolorimetrija, kolorimetrijska razlika, zaslon

Summary

The subject of this thesis is to compare two of the most common technologies used in making displays for mobile devices, AMOLED and AMLCD. The task is to show the advantages and disadvantages of each technology by the measurement method. The introductory section deals with general issues related to colorimetry and display technology to explain some key concepts that are closely related to the research itself.

To measure the colorimetric values with chroma meter in a controlled environment mobile devices must be selected. After that the figures will be processed in MATLAB programming environment. Results of the colorimetric difference will be compared for each device measured at an angle of 0 and 30 degrees and also gamuts of the devices will be compared with the default data from the script that has been displaying colors on measured devices. Tables and graphs will be made for better comparison of the obtained results.

Keywords:

AMOLED, AMLCD, gamut, colorimetry, color difference, display

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio.....	2
2.1. Boja.....	2
2.2. Povijest klasifikacije boje.....	3
2.3. Moderni prostori boja	12
2.3.1. CIEXYZ	12
2.3.2. CIELAB.....	15
2.3.3. sRGB.....	16
2.4. Tehnologije prikaza na zaslonu.....	18
2.4.1. AMLCD.....	19
2.4.2. AMOLED	27
3. Eksperimentalni dio.....	31
3.1. Rezultati mjerenja i diskusija.....	33
3.1.1. Usporedba mjerenja pod različitim kutovima	33
3.1.2. Usporedba uređaja sa sRGB vrijednostima.....	35
3.1.3. Gamuti.....	36
4. Zaključak.....	43
5. Literatura.....	45
6. Popis slika.....	46
8. Popis tablica.....	48
9. Popis dijagrama	49
10. Prilozi	50

1. Uvod

Osjet boje je psihofizički doživljaj ili podražaj koji se stvara prilikom promatranja refleksije svjetla sa određene površine. Bilo tko sa osjetom vida ima mogućnost vidjeti i doživjeti boje, međutim boja je vrlo subjektivna stvar. Problem koji može nastati pri tome je klasifikacija boje, tj. određivanje njenih parametara. Ljudsko tijelo, ili u konkretnom slučaju oko, je podložno varkama mozga koji "obrađuje" informacije sakupljene osjetilima. Doživljaj pojedinih boja stoga može varirati od pojedinca do pojedinca što ne mora nužno biti problem, no kod reprodukcije boja na zaslonu, tisku i sl. to može biti vrlo bitno i mogu se dogoditi velike greške. Iz tog razloga bitno je na neki način definirati boju, obilježiti ju bez obzira na uvjete (promatrač, pozadina, osvjetljenje...) pri mjerenju dati jednaki rezultat. Iz tog razloga, kako bi se standardizirao proces i kako bi se reprodukcija mogla uskladiti, osmišljeni su sustavi i polja boja koji opisuju boju koristeći nekoliko parametara te joj daju brojčane vrijednosti. Ti brojevi predstavljaju opis boje i na taj način je definiraju puno bolje, detaljnije i preciznije od njenog naziva. Za primjer možemo uzeti plavu boju sportskog dresa. Plavu boju možemo objasniti kao nebeskoplavu, modru i sve druge jednosložnice i kombinacije riječi koje se znaju koristiti pri samom objašnjenju nijanse. Niti jedna riječ ne definira boju na onaj način na koji je to potrebno za grafičku reprodukciju. Ako koristimo broj ili skupinu brojki, tada je moguće jednoznačno definirati o kojoj se točno boji radi i moguće je reproducirati ju na pravilan način.

Danas se boje reproduciraju na razne načine i na raznim medijima pa se tako sve više isprepliću grafička i informatička industrija kako bi se dobio proizvod koji zadovoljava visoko postavljene kriterije.

2. Teorijski dio

2.1. Boja

Ljudski rod od samih svojih početaka ima težnju klasificirati stvari, stavljati ih u određene kategorije. Bez obzira o čemu se konkretno radi postoji potreba da se stvari nazovu svojim imenom, pridružuju u razne grupe ako imaju ista obilježja i slično. Ništa drugačije nije niti s bojom. Boja kao podražaj je kroz povijest bila predmet raznih proučavanja i interesa te se njena klasifikacija pokušala napraviti nekoliko puta s manje ili više uspjeha. Kolorimetrija je dakle znanost o bojama koja se bavi brojčanim određivanjem boje.

Najvažnije značajke kod definicije boje su:

1. Svjetlina- Obilježje vizualnog osjeta koje opisuje sličnost boje s nizom akromatskih boja od crne do bijele.
2. Ton- Vizualni doživljaj na temelju kojeg definiramo (npr. crvena, žuta, plava...)
3. Zasićenje- Udio čiste boje sadržane u ukupnom vizualnom doživljaju boje



Slika 1 Ton, zasićenje, svjetlina

Izvor: <http://lindaperry.us/nm4208/color.htm>

Kako bi mogli klasificirati boje po određenim parametrima postoje prostori boja a glavna razlika i podjela je na one ovisne o uređaju koje ovise o kromatskim karakteristikama seta primarnih boja koje se koriste u procesu bojanja i one neovisne o uređaju koje definiraju boju na bazi percepcije standardnog promatrača.

2.2. Povijest klasifikacije boje

Grčki filozofi su bili prvi za koje se zna da su se bavili klasifikacijom boja te su pokušali razviti pojedine sustave primarnih boja, koje bi na neki način spajanjem činile sve ostale, temeljenim na određenim pretpostavkama koje su kasnije poslužile pri stvaranju modernijih prostora boja. S obzirom da je postojalo nekoliko škola filozofije (određeni filozofi su oko sebe okupljali učenike i istomišljenike) koje su imale veliki broj sljedbenika, postojalo je i nekoliko ideja i filozofija koje su se postupno nadograđivale. Neki su, poput npr. Demokrita, shvaćanje boja potpuno mistificirali tj. podigli su taj psihofizički podražaj na visoku filozofsku razinu. Demokrit koji je zagovarao atomističko poimanje svijeta je smatrao da boje nemaju bitak jer su one posljedica razmještaja atoma unutar objekta. Platon je primarne boje (doživljaje) definirao kao svijetla, bijela, crvena, crna koje miješanjem stvaraju druge nijanse. Neka istraživanja pisanih djela tadašnjih stvaraoca pokazuju da su bez obzira što su filozofi kroz svoj rad definirali oko 50 boja postojale riječi za preko 140 nijansi koje su se normalno koristile u tim pisanim djelima [1].

Srednji vijek nije ponudio veliki pomak u poimanju boja. Međutim, postojalo je nekoliko pojedinaca koji su svojim doprinosom zaslužili mjesto u povijesti klasifikacije boja. Jedan od njih svakako je Roger Bacon (1214. - 1292.), engleski filozof i fratar koji se vodio za Aristotelovim učenjima [1].

Napisao je 3 djela koja su bila vezana uz boje i poimanje iste:

1. *Liber de sensu et sensato*
2. *Opus majus*
3. *De multiplicatione specierum*

Bacon je koristio izraz gradacija (*lat. gradus*) kako bi opisao varijaciju nijansi. U djelu *Liber de sensu et sensato* [1] napravio je popis od 20 boja koja su bile sortirane prema tonu te je dao objašnjenje za svaku boju s obzirom da je koristio stare nazive i izvore pri davanju nazivlja. Bacon je time zapravo započeo s klasificiranjem boja međutim dalje od toga nije došao [1].

Leonardo da Vinci (1452. – 1519.) je predložio skalu boja poredanu po tonovima koja se sastojala od 6 primarnih boja. Ono u čemu se nije slagao sa filozofima koji su prethodno razvili svoje teorije je bilo to što je on u skalu umetnuo crnu i bijelu. Do neslaganja u mišljenjima je došlo iz razloga što se ti tonovi smatraju ili početkom svake boje ili njenim nedostatkom tj. krajem [1]. Međutim, da Vinci je kao slikar koristio i te boje pa je samim time smatrao da one moraju biti unutar predložene skale boja. Osim bijele kao primarne i crne kao zadnje boje, tu su još bile redom: žuta, zelena, plava te crvena [1].

1528. talijanski Antonio Telesio je objavio knjižicu *Antonii Thylesii de coloribus libellus* [1]. U njoj je objasnio i opisao 12 osnovnih boja. Za svaki naziv boja naveo je povijesni kontekst te nekoliko naziva koji su se koristili kroz povijest.

Lista njegovih boja je izgledala ovako

1. <i>Coeruleus</i> (blue, sky blue)	<i>indicum, cyaneum, venetus,</i>
2. <i>Caesius</i> (bluish gray, gray)	<i>glaucus, baios, charopon</i>
3. <i>Ater</i> (black, dead black)	<i>niger, anthracinus, fuscus</i>
4. <i>Albus</i> (white, dead white)	<i>pallidus, candidus, leucophaeus</i>
5. <i>Pullus</i> (dark colored, grayish black)	<i>impluviatus</i>
6. <i>Ferugineus</i> (rust colored, dusky)	<i>hyacinthus</i>
7. <i>Rufus</i> (red, ruddy)	<i>rutilum, russum, sanguinatus</i>
8. <i>Ruber</i> (red, ruddy)	<i>purpureus, xerampelinus</i>
9. <i>Roseus</i> (rose colored)	<i>incarnatus</i>
10. <i>Puniceus</i> (purple)	<i>spadiceus</i>
11. <i>Fulvus</i> (yellowish brown, tawny)	<i>croceus, luteus, flammeus</i>
12. <i>Viridis</i> (green)	<i>prasinus</i>

[1]

Iz te liste moglo se zaključiti da je Telesio shvaćao nepotpuno zasićene boje.



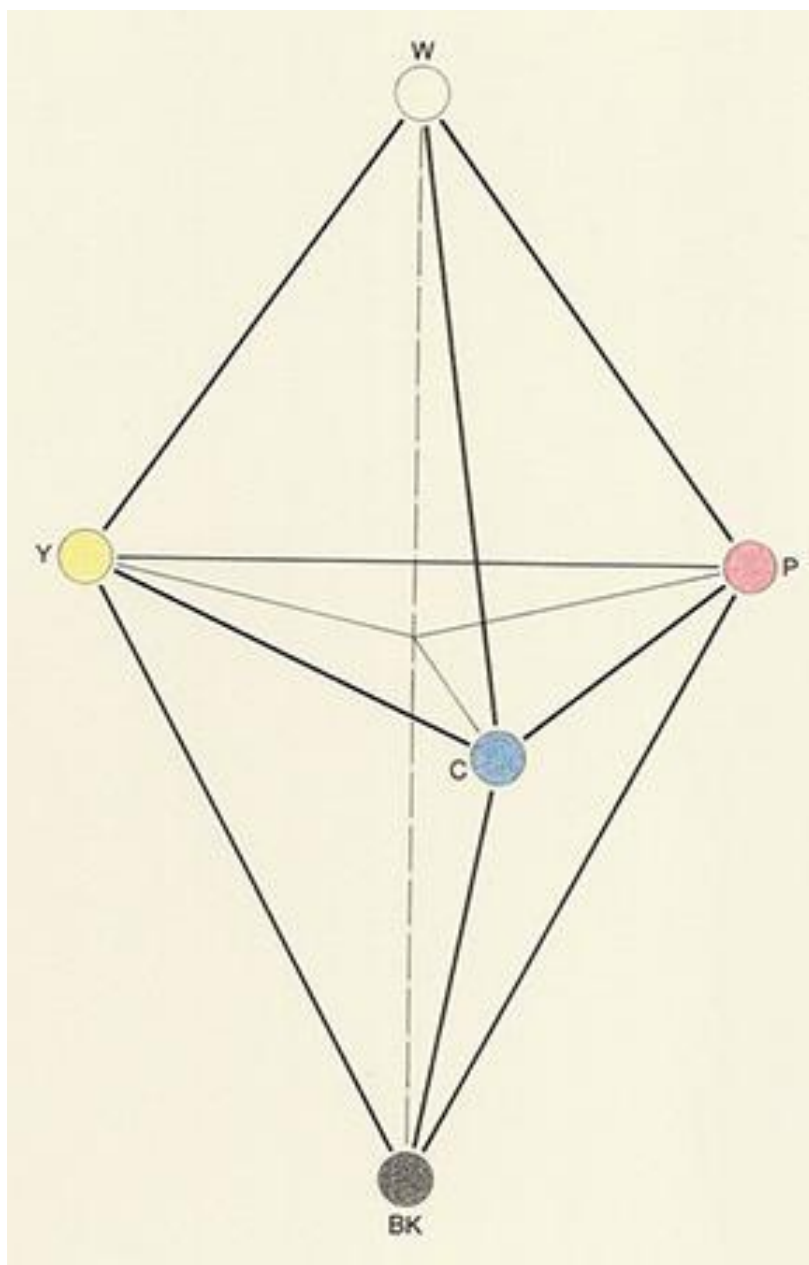
Slika 4 Newtonova kružnica boja

izvor: R. G. Kuehni (2003). Color space and its division, John Wiley & Sons

Kružnica je bila podijeljena u 7 dijelova od kojih je svaki predstavljao jedan ton boje koja na svojem kraju postepeno prelazi u drugu boju. Miješanjem tih primarnih boja nastaju sve ostale. Moguće je da je Newtonov dijagram nastao pod utjecajem francuskog filozofa Renea Descartesa (1596.- 1650.). Newton je koristio broj 7. Toliko je primarnih boja, kao i kod Aristotela no razlika je što je on u primarnih 7 uključio crnu i bijelu. To je istraživanje uveliko pripomoglo kasnijem nastanku i unapređenju prikaza kružnog polja boja. Njegov je rad uvelike pridonio promjenama u shvaćanju boja toga doba, a samim time je i uvelike doprinio modernom shvaćanju boja [1].

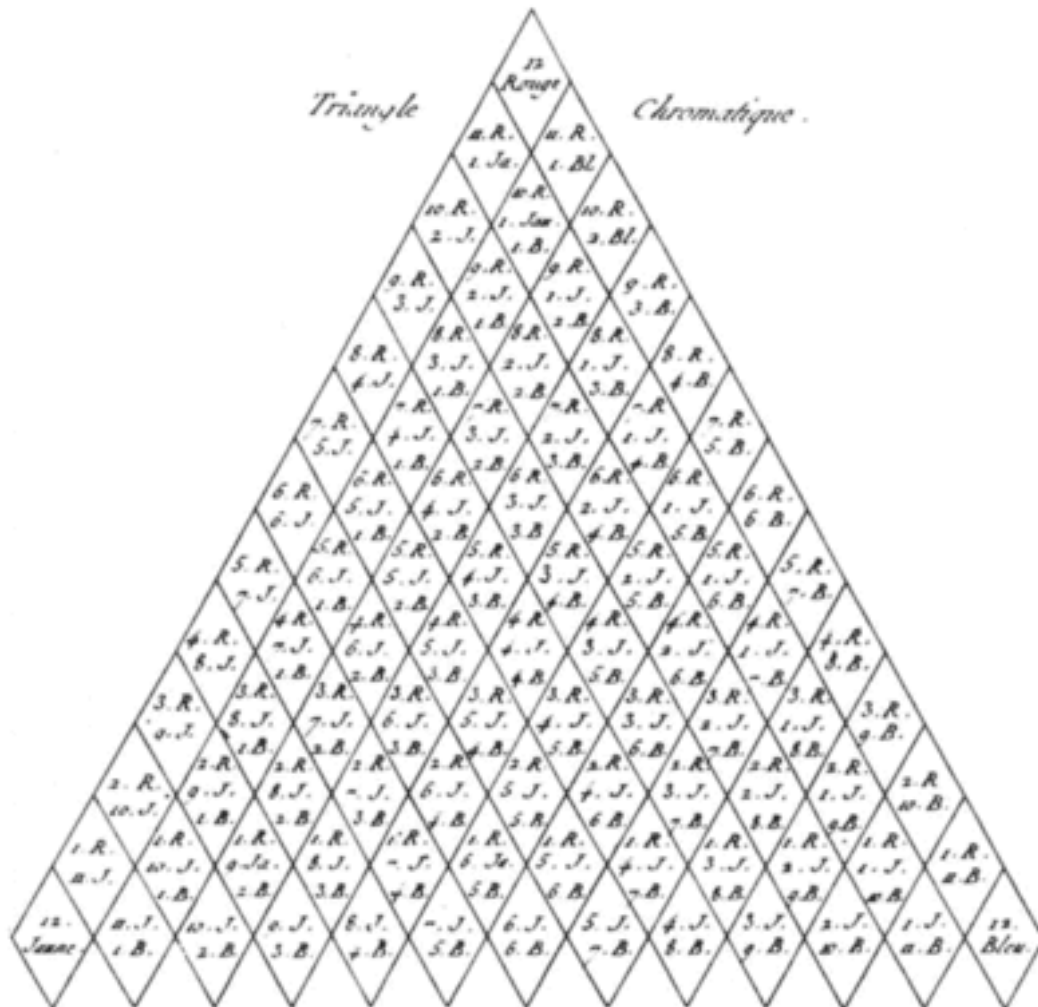
Tobiasu Mayeru (1723.- 1762.) , njemačkom geografu i astronomu je posthumno objavljeno djelo *De affinitate colorum commentatio* [1]. Mayer je postavio temelje za sistematiziranje boje na principu tri primarne boje. Njegova je teorija da se iz 3 primarne boje (crvena, žuta, plava) miješanjem mogu postići sve ostale. Te tri boje vidimo kada gledamo dugu, i još bolje kada sunčeve zrake prolaze kroz staklenu prizmu. Definirao je udaljenost između tih boja, isto

kao i udaljenost tih boja od crne i bijele. Kao referenti broj za razmak uzeo je 12 iz razloga što se u glazbi i arhitekturi nisu koristili veći brojevi za proporcije i omjere [1].



Slika 5 Mayerov tetraedar

izvor: R. G. Kuehni (2003). Color space and its division, John Wiley & Sons



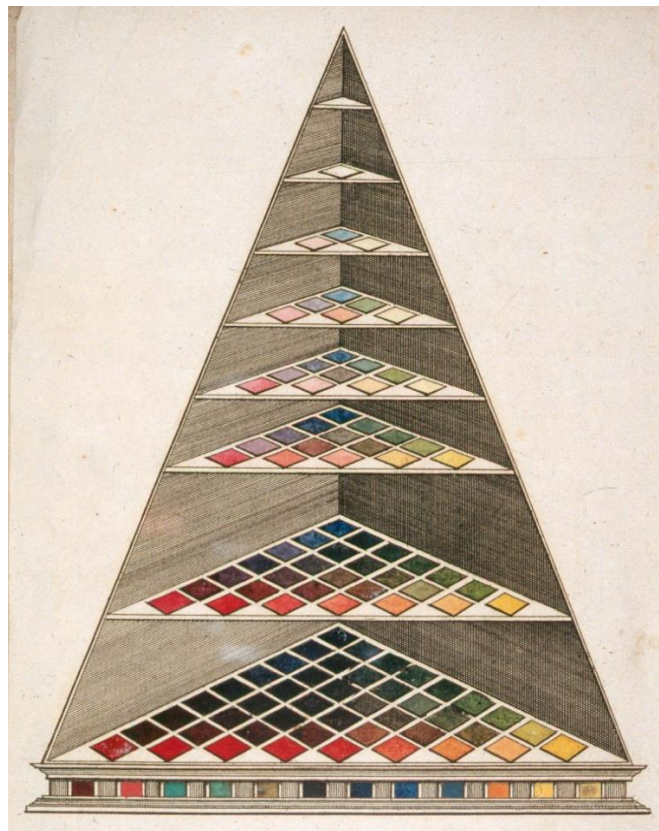
Slika 6 Mayerova piramida boja

izvor: R. G. Kuehni (2003). Color space and its division, John Wiley & Sons

Naknadnim „miješanjem“ boje, na višoj razini (stvarao je nove nijanse iz postojećih dodavanjem bijele, kako bi povećao svjetlinu) dobio je dvostruki tetraedar sa 819 boja. Sivi ton Mayer nije predvidio kao miješanje crne i bijele već kao miješavinu tri primarne boje [1].

Johann Lambert (1728.- 1777.) je nadgradio njegovo istraživanje i u svojem dijelu *Photometria* citirao neke navode [1]. Koristeći neke od Mayerovih teza, Lambert je napravio svoj sustav koji je imao oblik trokuta. Sve se također temeljilo na 3 primara kao i kod Mayera, iako je u djelu naglasio da je on uzeo kolorante koji su najbliži po intenzitetu spektralnim bojama te da u budućnosti to može biti promijenjeno ukoliko se nađu primari bliži spektralnom intenzitetu.

Razlika koju je napravio u odnosu na Mayerovo istraživanje je miješanje s crnom koje nije napravio, a time je i zanemario donji dio Mayerovog tetraedra. Inovativno je iskoristio brojeve kako bi opisao boje koje su zapravo bile razmaci između primara (npr. 1 za plavu a 10 za plavu koja naginje prema crvenom). Zamislio je svoju piramidu kao pomoć i alat za npr. trgovce. Kupac bi mogao objasniti koju točno nijansu želi sa brojem koji vidi, dok bi se oni koji se bave bojom mogli lako koristiti sustavom da vide koju miješavinu trebaju koristiti i u kojim omjerima kako bi dobili željenu boju [1].

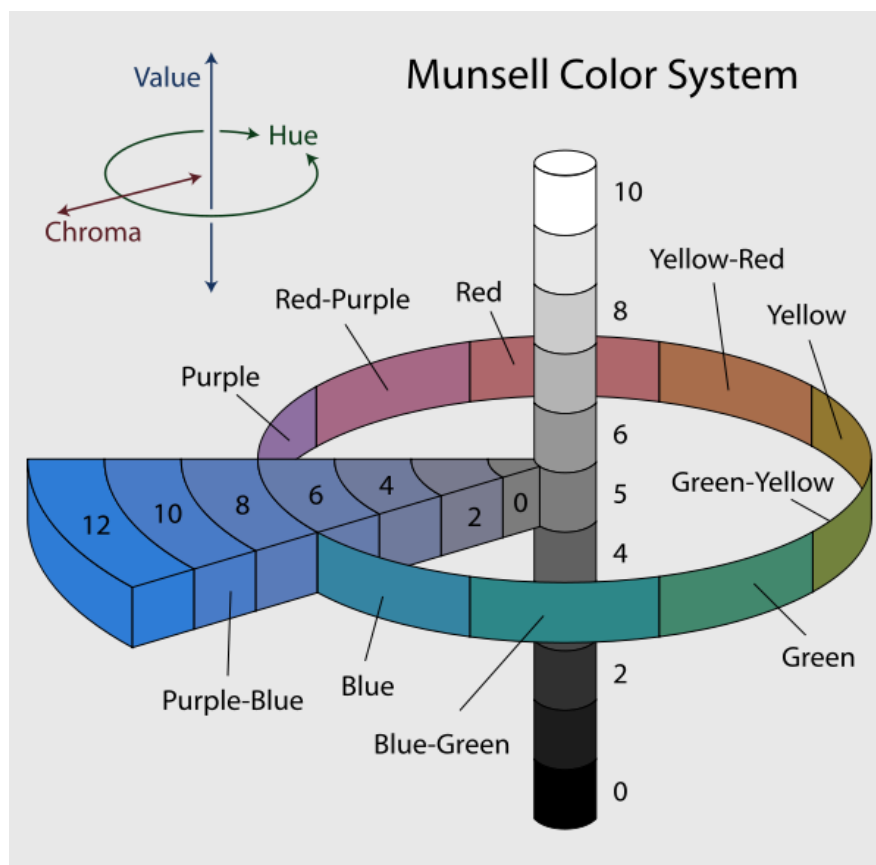


Slika 7 Piramida boja

izvor: R. G. Kuehni (2003). Color space and its division, John Wiley & Sons

1857. James Clerk Maxwell (1831.- 1879.) objavio je radnju o svojem eksperimentalnom miješanju boja. Sve boje koje ljudsko oko može vidjeti i doživjeti je objasnio skicom trokuta boja. Vrhovi trokuta bile su 3 primarne boje (crvena, plava i zelena). Miješanjem tih boja dobivaju se sve ostale boje koje postoje u spektru a vidljive su ljudskom oku. Spektar je prikazan kao krug sa bijelom sredinom. Matematičkim je računom dobio krivulju boja [1].

19. stoljeće je ponudilo nekoliko prostora boja preko geometrijskih tijela (npr. Bensonov kubični sistem). Najznačajnije ime svakako je Albert Munsell (1858.-1918.). S obzirom da se bavio umjetnošću nakon što je završio umjetničku školu, radio je kao predavač. Htio je sistematizirati boje, i pokušati ih objasniti svojim studentima kako bi ih oni mogli lagano i smisleno kombinirati u svojem umjetničkom stvaralaštvu. Osmislio je sferalni prikaz, a naknadno odlučio koristiti decimalni sustav kao bazu za sistematizaciju. Prvotno je izabrao pet primarnih boja (žuta, crvena, ljubičasta, plava i zelena). Centar sfere je predstavljala skala svjetlosti koja je bila podijeljena u 100 dijelova. Dobio je ideju za novi atribut boje (zasićenje) koje je nazvao *Chroma* za boje jednakog zasićenja, a taj bi se atribut vizualno širio radijalno od centra. Koristeći parametre zasićenja i svjetline Munsell se odmaknuo od tradicionalnog smještaja boja. Takav sustav je rezultirao vertikalnim i horizontalnim smještajem boja po njihovim atributima tj. stvorio je trodimenzionalni prikaz prostora boje [1].



Slika 8 Munsellov prostor boja Izvor: http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system

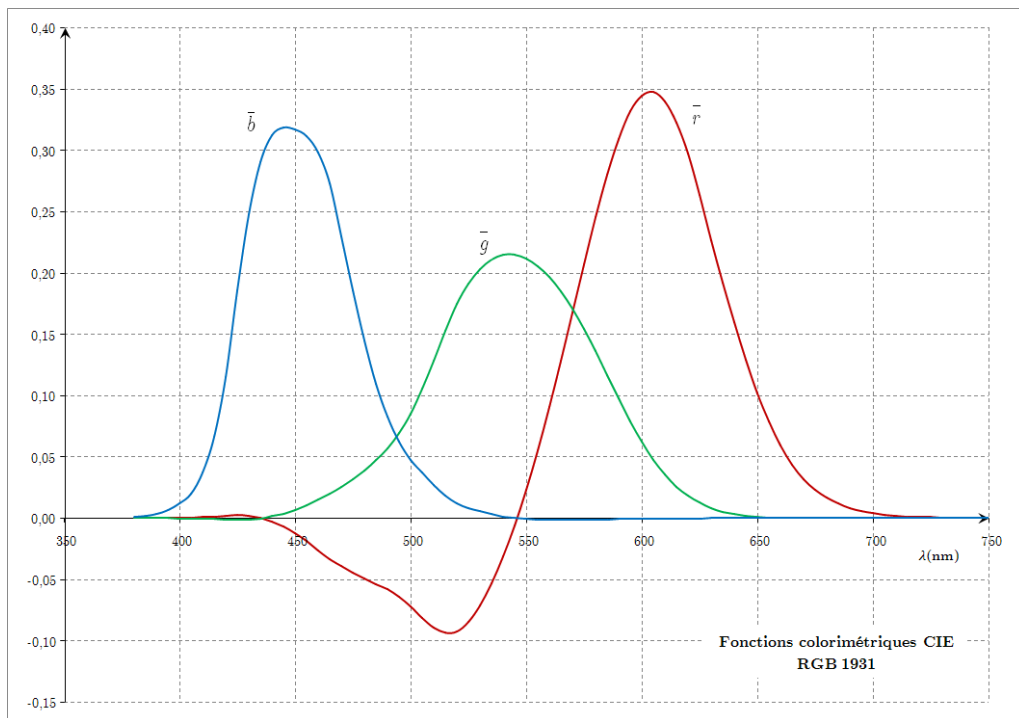
2.3. Moderni prostori boja

2.3.1. CIEXYZ

1931. CIE (Internacionalna komisija za osvjetljenje) je stvorila CIE XYZ prostor boja koji je prvi matematički definirani prostor. Temeljen je na istraživanjima koje su provodili William David Wright i John Guild 1920-ih [5]. Njih su dvojica svojim radom razvili CIE RGB prostor boja na temelju tristimulusnih vrijednosti. Istraživanje se temeljilo na utvrđivanju *Standardnog promatrača*, primara te vrste osvjetljenja. Wright je trikromatsku teoriju ispitivao na 10 ispitanika. Test se sastojao od toga da je pred njih postavio dva kvadrata koju su bili ispunjeni bojom. Jedan je prezentirao boju koju se trebalo postići unutar drugog tako da se miješaju crvena, zelena i plava. Količina svake boje (tj. koliko nje se koristi za dobivanje neke druge) se mogla izmjeriti i opisati brojem. Sve vrijednosti su zatim normalizirane kako bi se bojama mogle dodijeliti koordinate unutar prostora boja tj. odrediti količina primara u samoj boji. Svaki od 10 ispitanika je je tako dao svoj obol tj. svoje vrijednosti kako bi se definirao *Standardni promatrač*. Wright je tako definirao matematičku formulu za dobivanje boja:

$$C(\lambda) \equiv r_1(\lambda) R(650) + g_1(\lambda) G(530) + b_1(\lambda) B(460)$$

pri čemu su $r_1(\lambda)$, $g_1(\lambda)$, $b_1(\lambda)$ vrijednosti čiji zbroj daje rezultat 1, a R, G i B prezentiraju tristimulusne vrijednosti [6]. Guild je provodio vrlo sličan eksperiment u otprilike isto vrijeme kao i Wright. Pri završetku istraživanja otkriveni su određeni nedostaci, međutim najveći je svakako bilo to što se neke boje ipak nisu mogle dobiti bez obzira koliko su se mijenjale vrijednosti u testnom kvadratu u tako postavljenim uvjetima. Kada se to uzelo u obzir pri stvaranju matematičkih jednadžbi (i grafova koji su kasnije definirali funkcije) došlo se do zaključka da crveni kanal može biti negativan, što zbunjuje jer znači da je potreban negativan podražaj kako bi jedna od boja bila uočena [3]. Standardizacijom tri kanala stvoren je CIE RGB prostor boja.



Slika 9 CIE RGB

Izvor: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_RGB_fonctions_colorim%C3%A9triques.png

Naknadnim promjenama ti nedostaci su otklonjeni te je 1931 [2] stvoren CIE XYZ prostor boja. To je trodimenzionalni prostor boja u kojem su sve vrijednosti pozitivne ili jednake nuli, a Y je mjera za svjetlinu. To znači da X i Z predstavljaju druge komponente, kao što su ton i zasićenje [1].

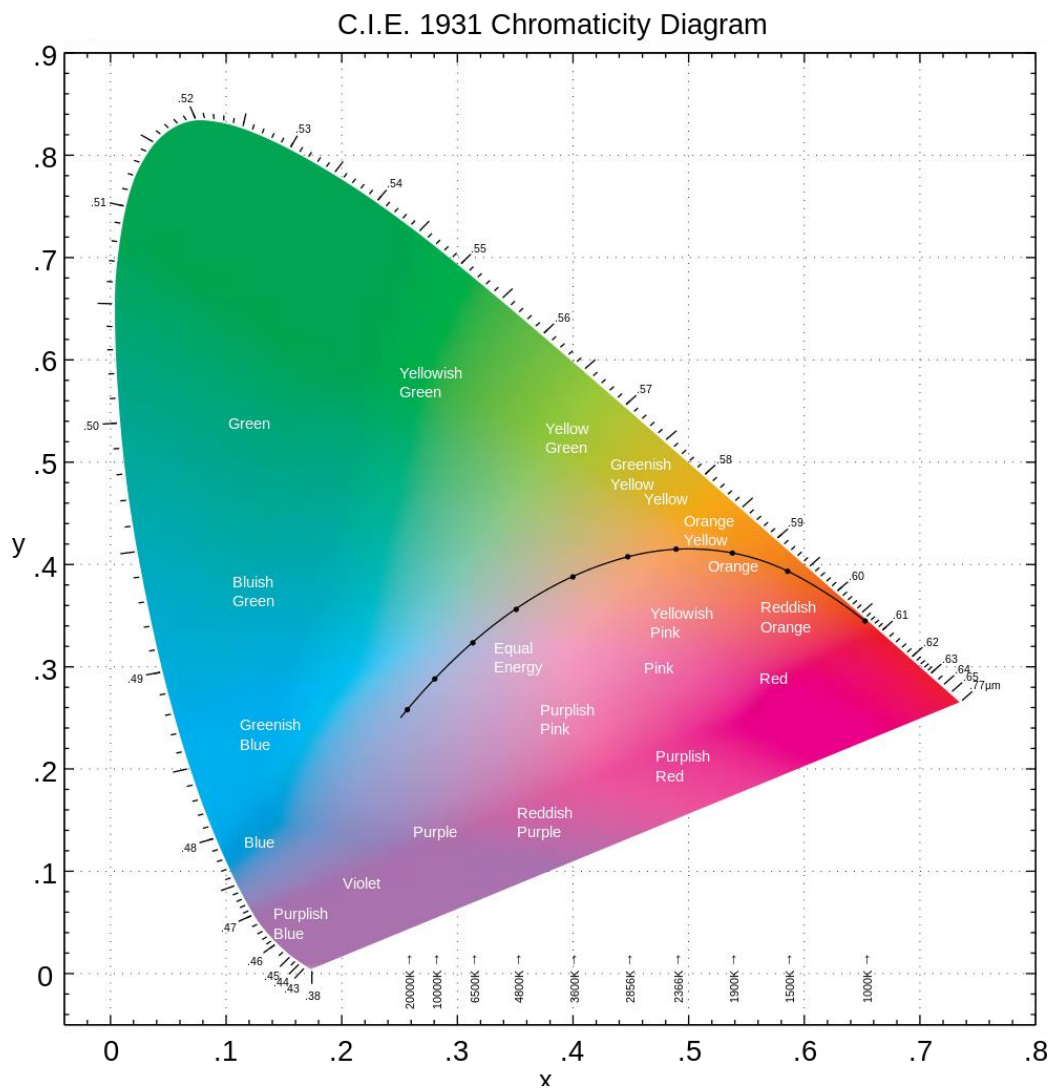
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

CIEXYZ prostor boja se temelji na načelu da boja nije karakteristika nekog objekta ili tijela, već je to percepcija energije koju to tijelo emitira ili reflektira te se zatim u ljudskom mozgu stvara slika [2].

Ovaj prostor boja ima i određenih. Jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama. Ranih 40-ih godina prošlog stoljeća David MacAdam dokazao je da vidljiva kolorimetrijska razlika između dviju boja na lijevoj strani prostora izgleda manje, a zatim se progresivno povećava između slijedećih boja ako se graf krene pratiti u smjeru prema gore [2]. Dijagram kromatičnosti ne pokazuje dovoljno kako boja izgleda te svjetlinu nije moguće mijenjati. Bijela točka u grafu predstavlja mjesto svjetlosnih jedinica. Grafički prikaz ovog prostora boja izgleda kao potkova [5].



Slika 10 CIE XYZ prostor boja

Izvor: http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

2.3.2. CIELAB

1976. CIE je napravila još jedan napredak uvođenjem CIE LAB prostora boja. Ovaj prostor je ostvaren nelinearnom transformacijom XYZ prostora te je djelomično rješenje za probleme pojavnosti i vizualne razlike boja koje su imali prijašnji sustavi [2]. Nastao je trodimenzionalni sustav kod kojeg a^* i b^* osi tvore ravninu a L^* je okomita os na tu ravninu koja predstavlja svjetlinu. L^* vrijednosti su od rasponu od 0 do 100 pri čemu 0 predstavlja crnu, dok 100 predstavlja difuznu bijelu. Vrijednost a^* ima negativne vrijednosti (bliže zelenoj boji) te pozitivne (crvena boja). Vrijednost b^* funkcionira isto kao i a^* samo što su na njenim krajevima plava (negativni dio) i žuta (pozitivni) [1].

$$\begin{aligned}L^* &= 116f(Y/Y_n) - 16 \\a^* &= 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\b^* &= 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]\end{aligned}$$

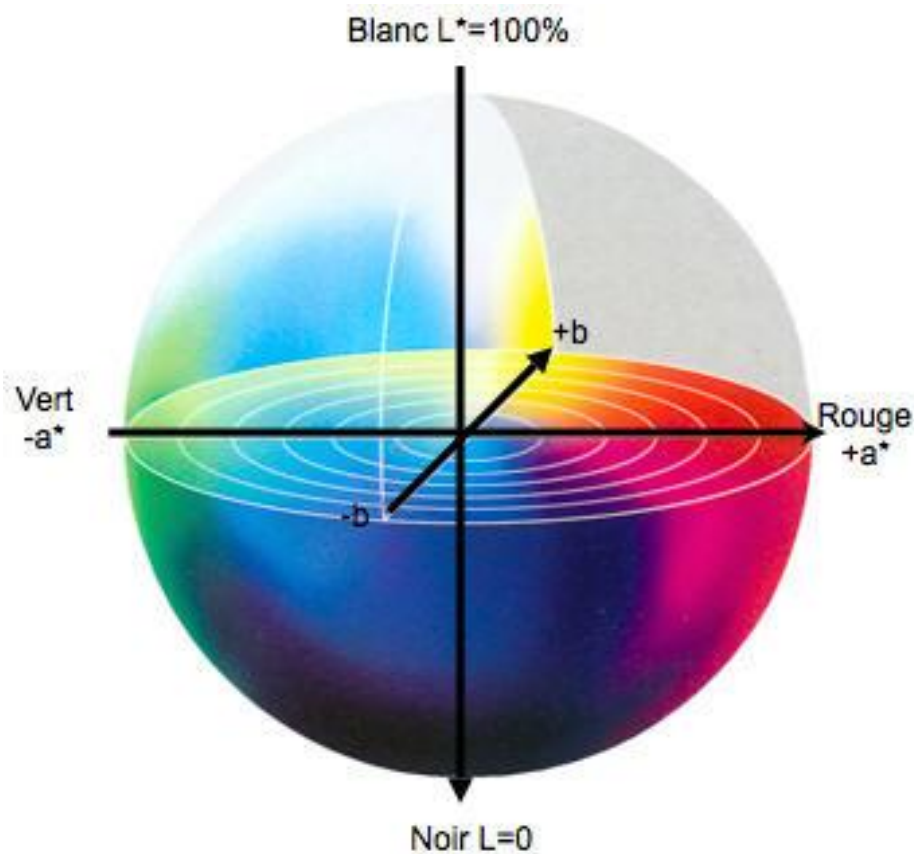
*Slika 11 $L^*a^*b^*$ vrijednosti i*

zvor: R. G. Kuehni (2003). Color space and its division, John Wiley & Sons

CIELAB prostor boja može se smatrati prostorom pojavnosti boja jer se svjetlina može mijenjati. Još jedna prednost ovog sustava je što bolje dočarava vizualnu razliku između boja tj. nju predstavlja geometrijska udaljenost. Geometrijska udaljenost između neke dvije boje se naziva kolorimetrijska razlika (ΔE). Standardno ona ne bi trebala iznositi više od 6 jer taj broj predstavlja prag pri kojem izvježbani promatrač može uočiti razliku [3]. Ovaj prostor boja sadrži sve perceptivne broje što znači da ima veći gamut od RGB i CMYK modela (npr. ProPhoto RGB prostor boja sadrži 90% percipivnih boja). Gamut predstavlja opseg boja koji neki uređaj ili prostor boja može reproducirati. To je vrlo bitna karakteristika svakog uređaja ili prostora boja jer određuje njegov opseg i direktno utječe na rezultate u reprodukciji. Ukoliko je gamut veći mogućnosti reprodukcije su veće kao i sama preciznost, dok kod manjih gamuta može doći do određenih grešaka u reprodukciji iz razloga što određene boje nisu pokriveno opsegom te se stoga niti neće reproducirati već će na njihovo mjesto

doći neka druga, slična boja, međutim ne ona koja je zahtijevana. Vizualno nije moguće pomoću grafa prikazati cijeli gamut, međutim vizualni prikazi služe shvaćanju koncepta prostora boja.

Najbitnija i najkvalitetnija karakteristika je CIELAB sustava je neovisnost o uređaju. To znači da boje nisu definirane način na koji su kreirane u samom uređaju. Najčešća mu je primjena stoga kada se radi konverzija iz RGB u CMYK jer uključuje oba gamuta. Koristi se i kao posredni format pri prijenosu s uređaja na uređaj. Ovaj trodimenzionalni prostor boja se danas vrlo često koristi i po mnogima je najkompletniji prostor boja [3].



Slika 12 CIELAB Izvor: http://www.sapdesignguild.org/goodies/glossary_color/index1.htm

2.3.3. sRGB

Ovaj prostor boja je standardni RGB prostor boja koji je kreiran u zajedničkoj produkciji HP-a i Microsofta 1996 [3]. Napravljen je za korištenje na monitorima, printerima te na internetu. Koristi se i kod grafičkog formata SVG. Bazira se na

kromatičnosti tri primara (crvena, zelena i plava). Danas se ovaj prostor boja, zbog toga što je postao standard na internetu i računalima koristi kod većine slabijih modela digitalnih kamera i skenera kao zadani prostor za rad [4].

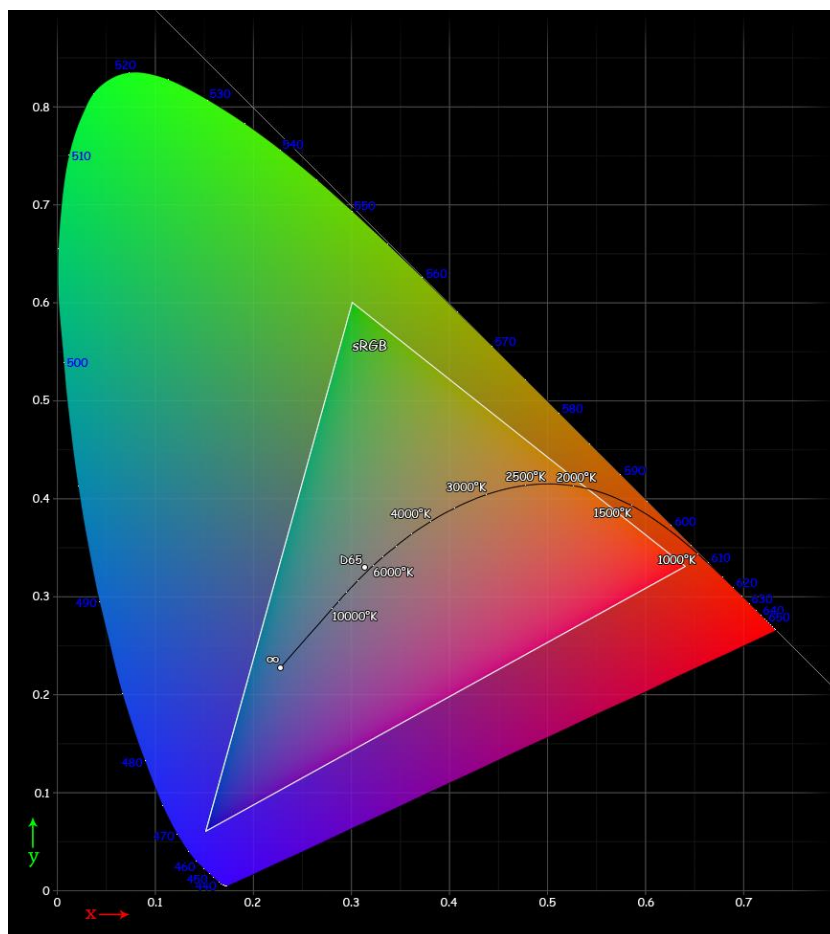
Najveće prednosti ovog prostora boja su :

1. Konzistentnost- postao je standard za mnoge uređaje pa predstavlja siguran odabir
2. Prikladan je za ispis jer zadovoljava kvalitetom
3. Dobar prikaz na internetu

Najveće mane su:

1. Puno manji gamut od drugih komercijalnih prostora (npr. Adobe RGB-a)
2. Ne može se konverzijom pretvoriti u AdobeRGB prostor boja

Ovaj prostor boja se može prikazati kao trokut unutar CIEXYZ dijagrama



Slika 13 sRGB prostor boja Izvor: <http://en.wikipedia.org/wiki/SRGB>

2.4. Tehnologije prikaza na zaslonu

Mobilne komunikacije kao industrija su u stalnom porastu, ali u zadnjih nekoliko godina doživljavaju velike promjene i pomake. Samim time industrija mobilnih zaslona je jedna od onih koja se s godinama sve više i više razvija i napreduje kako bi zadovoljile želje i prohtjevi brzorastućeg broja korisnika. Iako se možda čini da je zaslon za mobitel ili tablet smanjena i prenosiva verzija normalnog ekrana to nije tako jer se dizajneri ekrana trude napraviti jedinstven doživljaj za uređaj i držati korak sa razvitkom mobilne industrije općenito što u današnje vrijeme nije nimalo jednostavno. Glavna razlika je ipak u tome što se mobitel ili tablet koristi u pokretu pa iz tog razloga okolina i osvjetljenje nije standardno i jednako svakog puta i ne može se utjecati na sve faktore (većinom prepreke i probleme kao što su prejaka refleksija zraka sunca i sl.) koji se mogu pojaviti i smetati pri korištenju uređaja. Do tih problema ne dolazi sa monitorima jer se oni uglavnom koriste u zatvorenom prostoru te se takvi problemi u zatvorenom vrlo lagano rješavaju. Mobilni uređaj se napaja iz baterije što znači da je količina energije koja se troši na ekran ograničena kapacitetom baterije [8]. Nekada prije, dok mobiteli nisu još bili razvijeni kao danas, zaslone su bili monokromatski, sa cca 10*10 piksela [7]. Kasnije su se razvili uređaji koji su imali zaslon u boji. Ugradnjom kamera u mobilne uređaje pojavila se potreba za još većim napretkom. Današnji se zaslone sve više i više približavaju monitorima u vidu kontrasta, svijetlosti i zasićenja boja. To se događa iz razloga što postoji ljudska potreba za uređajem koji će biti praktičan, ali i imati brojne kvalitetne i korisne karakteristike i uvijek na dohvata ruke. Danas se mobiteli i tableti ne koriste samo za zvanje i slanje sms poruka već za surfanje internetom, komunikaciju, kupovinu, plaćanje, gledanje filmova...Zaslon je jedna od najvažnijih stavki koja se promatra pri izboru i ocjenjivanju mobilnog uređaja. Uz idealnu dijagonalu i rezoluciju zaslona bitna stavka je i tehnologija prikaza informacija na kojoj se zaslon temelji.

Dvije su osnovne tehnologije najzastupljenije:

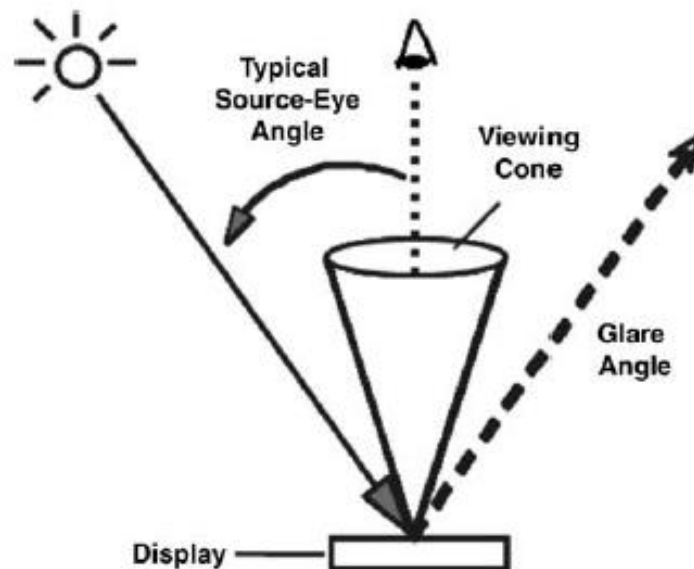
1. AMOLED – Samsung i Nokia
2. AMLCD – Apple, HTY, LG ...

Ove se tehnologije bitno razlikuju u načinu izrade, ali i prikaza same boje na zaslonu uređaja. Iz tog razloga svaka od njih ima određene prednosti i mane.

2.4.1. AMLCD

Liquid Crystal Display ili LCD je tehnologija prikaza na zaslonu koja svoju primjenu nalazi u brojnim uređajima, kao što su monitori, satovi, kalkulatori, mobiteli... Ova tehnologija bazira se na mogućnostima tekućih kristala da moduliraju svjetlost. Kristali ne emitiraju svjetlost već je samo modeliraju, tako da mora postojati neki drugi izvor svjetla [7].

Mobilni uređaj u većini slučajeva koristi jedna osoba, rjeđe se zaslon dijeli s nekim drugim pa je to jedna od karakteristika koja se svakako iskorištava pri izradi uređaja. Dovoljno je napraviti polje preglednosti u obliku stošca za pojedinačnog korisnika [7].



Slika 14 Polje preglednosti

izvor: A. K. Bhowmik, Z. Li, P. J. Bos (2008). *Mobile displays, Technology and Applications*

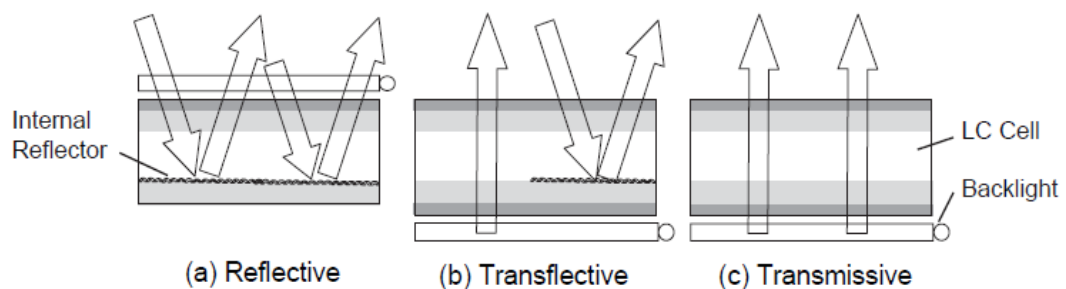
To zapravo znači da zaslon treba zadovoljiti tri osnovna mehanizma kako bi bio funkcionalan:

- Prikupiti maksimalno moguće osvjtljenje i iskoristiti ga za vidljivost podataka na zaslonu
- Polje preglednosti mora biti dizajnirano da pruža najbolji mogući doživljaj uređaja primarno tako da zaslon ima ugodan kontrast i svjetlinu
- Maksimalno smanjiti odbljesak od samog uređaja kako bi bio vidljiv i upotrebljiv na dnevnom svijetlu [7]

Glavna prednost LCD-a je fleksibilnost pri načinu manipulacije sa svjetlom.

Postoje tri metode na koji LCD zaslon funkcionira a to su :

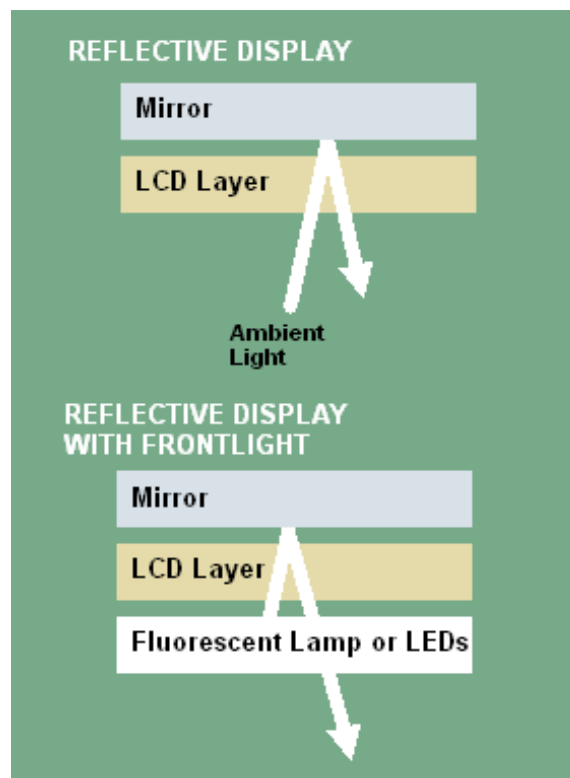
- Reflektivni
- Transreflektirajući
- Transmisijski



Slika 15 Metode LCD zaslona

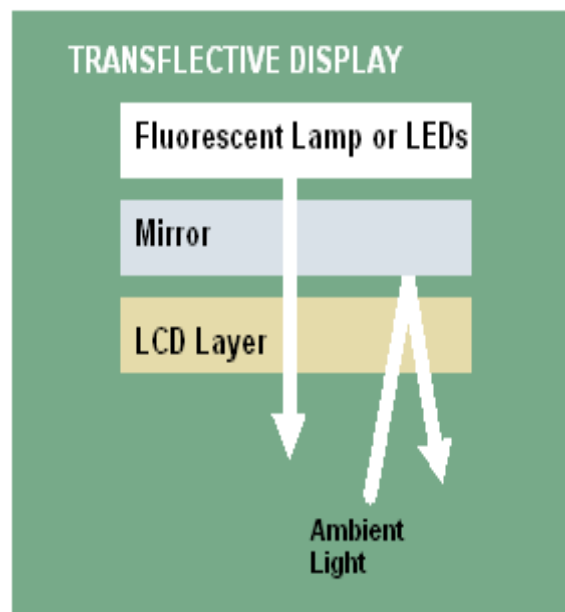
izvor: A. K. Bhowmik, Z. Li, P. J. Bos (2008). *Mobile displays, Technology and Applications*

Reflektivni zaslon najviše štedi energiju. On koristi ambijentalnu svjetlost za prikaz informacije tako što u svojoj pozadini ima reflektirajuće zrcalo. Ovakav je pristup bio vrlo popularan kod ranih zaslona koji su bili jednostavni i monokromatski. S obzirom da nema pozadinsko svjetlo koje konstantno osvjetljava njegova je cijena niska. Najveći i najbitniji nedostatak je svakako to što su zaslone općenito postali izrazito kompleksni, pa je bilo potrebno i unapređenje reflektivne tehnologije. Tako je reflektivni zaslon dobio filter za sintetiziranje boje ali i osvjetljenje s prednje strane koje je konstantno emitiralo svjetlost. Pri dizajniranju takvog zaslona pojavile su se brojne poteškoće jer je izvor svjetla s prednje strane morao biti neprimjetan kako bi korisnik i dalje mogao neometano koristiti zaslon. To je utjecalo i na debljinu i oblik uređaja. Nakon nekoliko godina konstantnog napora odustalo se od ovog oblika kao zaslon za mobilni uređaj [7].



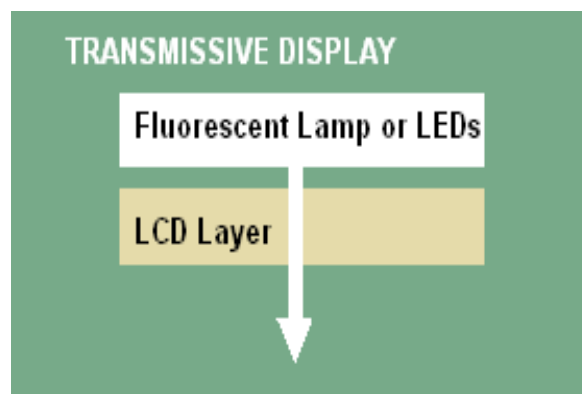
Slika 16 Shematski prikaz- reflektivni LCD
Izvor: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD>

S obzirom da su reflektivni zasloni imali velike nedostatke počeli su se koristiti transmissijski koji su zadovoljavali pred njih postavljene uvjete uštede, ali i osvjetljenja. Stare verzije ovakvog zaslona koristile su polutransparentno zrcalo, ali su imale i stražnje osvjetljenje kako bi zaslon bio optimalan u svim uvjetima. Novije verzije ovog zaslona koriste nešto drugačiji pristup pri čemu se fizički odvaja piksel u dvije zone (transmissijski i reflektivni). Transmissijski dio nije zrcalan i predstavlja otvor za pozadinsko svjetlo dok reflektivni dio ima zrcalo koje reflektira svjetlost. Omjer reflektivne i transmissijske zone se može namjestiti tako da uređaj može dobro funkcionirati u uvjetima sa i bez ambijentalnog svjetla. Na ovaj se način dobro kontrolira potrošnja energije i čitljivost zaslona. Ranije je taj omjer bio na 30:70 (transmissijski : reflektivni) dok je danas popularniji omjer 50:50, pa čak i 70:30 [7].



Slika 17 Shematski prikaz- transflektivni LCD
Izvor: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD>

Dobro pozadinsko svjetlo na LCD zaslonu može pružati osjećaj kvalitete zaslona gotovo kao monitor. Iz tog razloga je transmisijski zaslon najsuperiorniji u svim uvjetima osim pri vrlo velikoj vanjskoj svjetlini. Ovakvi zasloni koriste pozadinsko svjetlo za emitiranje svjetlosti i prikaz informacija. Najveći je nedostatak ovog načina definitivno povećana potrošnja energije. Međutim, zadnjih nekoliko godina bilježio se veliki napredak ove tehnologije i boljeg iskorištavanje energije, tako da je ovo i dalje primarni način za izradu LCD zaslona kod mobitela i tableta [7].



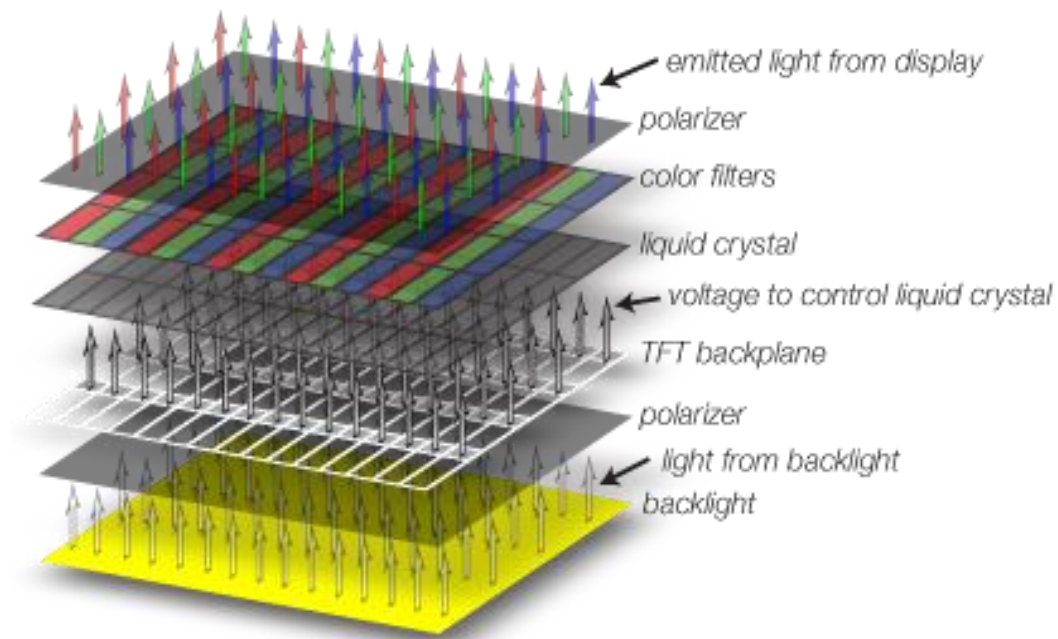
Slika 18 Shematski prikaz- transmisijski LCD
Izvor: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD>

Danas se pri izradi mobitela najviše koriste SuperLCD tehnologija zaslona. Ona je posebna po tome što ne postoji praznina između stakla zaslona i elemenata zaslužnih za prikaz podataka. Time se postiže osjećaj blizine displaya i sve izgleda puno kvalitetnije. Najveća prednost je i odlična vidljivost pri suncu u usporedbi s ostalim LCD tehnologijama, kao i niža potrošnja energije. Mnogo je proizvođača, nezadovoljno mogućnostima AMOLED-a (primarno zbog dugotrajnosti zaslona ali i cijene izrade zaslona) odlučilo vratiti se LCD-u, konkretno SuperLCD-u.

Svaki LCD zaslon je strukturiran od četiri sloja:

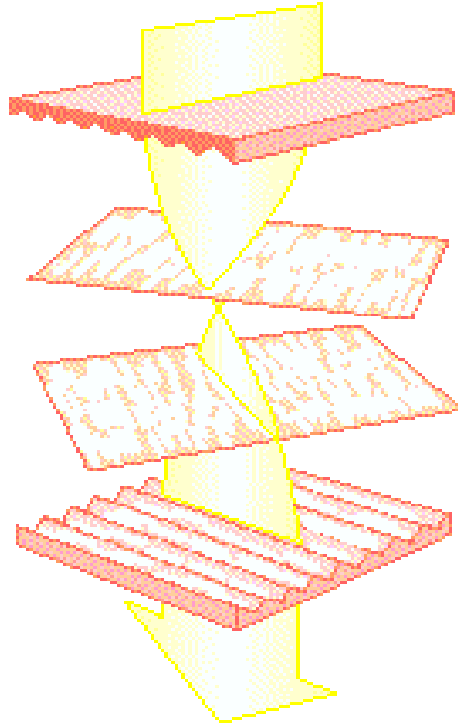
- sloj pozadinskog osvjetljenja
- sloj tekućeg kristala
- polarizirajući sloj
- vanjski zaštitni sloj

Vanjski sloj je zaštita unutarnjih komponenti od oštećenja izrađen je od plastike ili stakla. Polarizirajući sloj, u slučaju transreflektirajućih (TFT) LCD ekrana je jednosmjerni filter koji omogućuje prolaz svjetlosti iz ekrana prema ljudskom oku, i onemogućuje upadanje svjetlosti iz okoline u ekran. Ako je LCD izveden kao reflektirajući, tada polarizirajući sloj u ovom obliku ne postoji pa je rad ekrana dijelom moguć i pomoću ambijentalnog svjetla (bez dodatnog sloja pozadinskog osvjetljenja) [7].



Slika 19 Shematski prikaz LCD zaslona

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

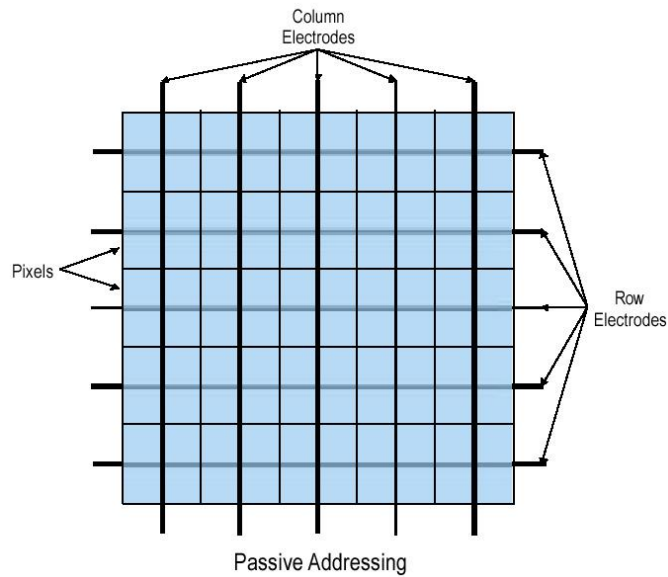


Slika 20 Prolazak svjetlosti kroz polarizatore

Izvor: <http://lcd-parts.com/polarizer.aspx>

Passive matrix predstavlja najjednostavniji (i najjeftiniji) način adresiranja piksela. Na stakla koja se nalaze iznad i ispod tekućeg kristala postavljeni su transparentni električni vodiči koji predstavljaju retke i stupce matrice. Kako bi se mogla odrediti osvijetljenost za pojedini pixel, prvo se odredi stupac na koji se primjenjuje napon, a zatim elektronski sklopovi "skeniraju" matricu primjenjujući napon na svaki redak u odabranom stupcu. Kada se dođe do dna ekrana, prelazi se na sljedeći stupac.

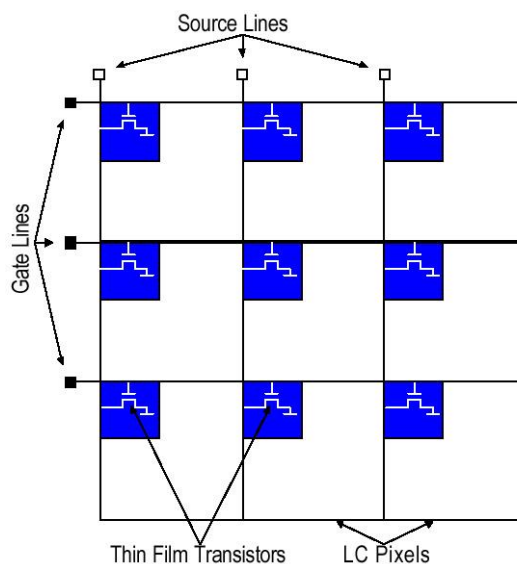
Rana primjena LCD-a za mobilne ekrane zove se Twisted nematic LCD. Ona je imala pasivnu matricu koja je trošila manje energije i cijenom je bila prihvatljivija međutim veliki nedostatak je bio to što je vrijeme potrebne za odziv bio velik te se radi toga dobivao dojam velikog kašnjenja i trzanja uređaja. Još jedan nedostatak je svakako to što adresirani pikseli djeluju na susjedne pa se događa da neki dijelovi ekrana budu jače ili slabije osvijetljeni [7].



Slika 21 Shematski prikaz pasivne matrice

Izvor: http://www.plasma.com/hometheater-guides/what_is_tft_lcd.php

Zbog ti se nedostataka počela koristiti AMLCD tj. aktivna matrica. Ona koristi električne sklopke (TFT- Thin Film Transistor) za adresiranje svakog piksela pojedinačno čime se omogućava korištenje tekućih kristala sa puno bržim odzivom. S obzirom da su pikseli izolirani od susjednih, sprečava se i pojava da ekran na jednom dijelu svijetli jače ili slabije. Međutim, ovakvo korištenje tranzistora komplicira izradu pa je stoga i cijena zaslona veća [7].

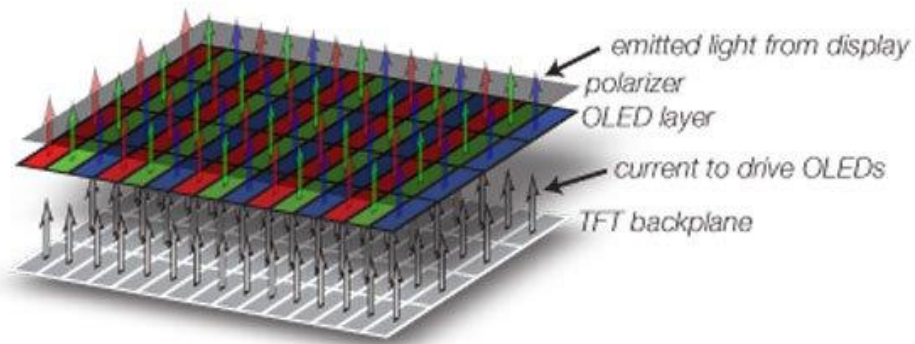


Slika 22 Shematski prikaz aktivne matrice

Izvor: http://www.plasma.com/hometheater-guides/what_is_tft_lcd.php

2.4.2. AMOLED

Active-matrix organic light-emitting diode ili AMOLED je tehnologija prikaza vrlo zastupljena pri izradi mobilnih uređaja i tableta. AMOLED ekrani proizvode svjetlost direktno iz dioda i nemaju potrebu za dodatnim polarizirajućim filterom i dodatnim osvjetljenjem, kao što to imaju LCD ekrani. AMOLED ekrani se sastoje od sloja tranzistora koji kontroliraju napon koji dolazi na LE diode zadužene za kreiranje svjetla. Dioda same po sebi proizvode svjetlo pa zbog toga nema potrebe za dodatnim slojem pozadinskog osvjetljenja kojim LCD ekrani troše više energije, a zbog toga su također i puno deblji u usporedbi s AMOLED ekranima. Zbog novih trendova i zahtijeva kupaca za tanjim i elegantnijim uređajima sve više proizvođača odabire AMOLED ekrane upravo zbog te karakteristike. AMOLED ekrani imaju vrlo visok kontrast koji postižu na jednostavan način. U slučaju da 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 [7].

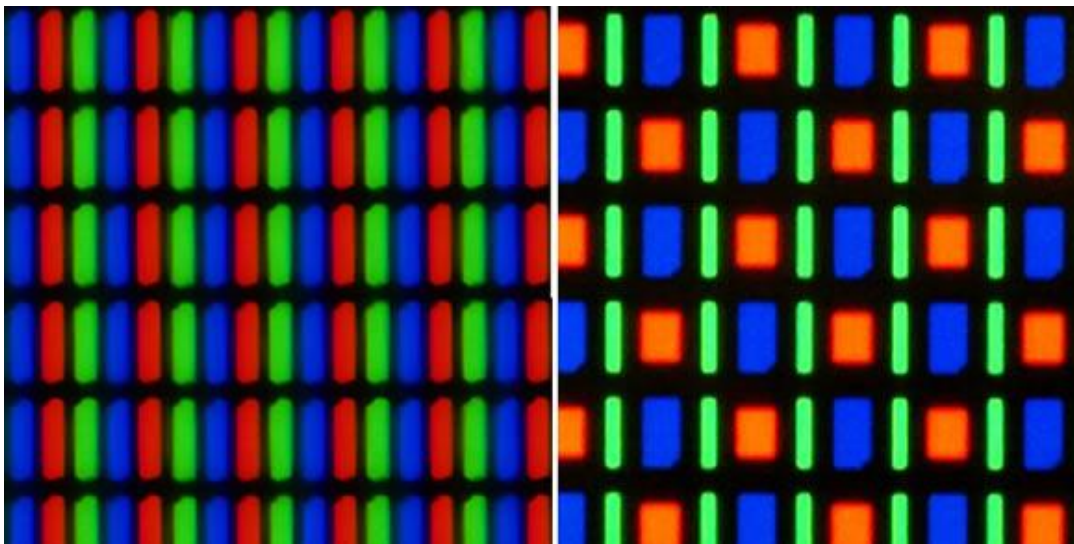


Slika 23 Struktura AMOLED zaslona

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

AMOLED također ima svoje nedostatke. Diode koje su namijenjene za osvjetljenje pojedinog piksela izrađuju se od organskih materijala koje mogu imati određene kvalitativne razlike. Takve razlike utječu na intenzitet svjetla kojeg proizvode diode pa samim time i utječu na realnost prikaza boja, što dovodi do nekoliko problema. U slučaju da jedna dioda ima veći intenzitet, ona može prouzročiti da ekran poprimi određenu nijansu boje – posebno je to vidljivo na bijelim pozadinama kada ekran može biti plavkast ili zelenkast. Također, i ukupan prikaz boja je saturiran pa time i prikaz boja nije realan kao kod IPS LCD-a [9].

OLED se danas koristi i sa pasivnom i sa aktivnom matricom. PMOLED (pasivna matrica) radi na način da se za osvjetljenje svakog pojedinog piksela šalje električna energija u stupac i red gdje se piksel nalazi. Što se više energije pošalje, piksel jače svijetli. AMOLED je sličan, no ipak nešto inovativniji i napredniji jer svaki piksel ima svoj TFT (thin-film transistor). TFT ima ulogu prekidača koji kontrolira koliko struje šalje u piksel u kojem trenutku, što znači da se struja šalje u svaki piksel a zatim TFT kontrolira koliko će taj piksel jako svijetliti i hoće li uopće. Za razliku od AMLCD-a koji koristi RGB matricu za piksele, AMOLED tehnologija je uglavnom bazirana na PenTile matrici.



Slika 24 RGB i PenTile

Izvor: <http://www.telefoniram.com/ekrani-lcd-vs-amoled-rgb-vs-pentile>

To znači da zbog svojih tehnoloških ograničenja intenziteta svjetlosti različitih dioda AMOLED ne kombinira 3 podpiksela kako bi stvorio jedan (kao što radi AMLCD pomoću RGB matrice) već koristi kombinaciju zelenog sa alternativnim crvenim ili plavim pikselom. S obzirom da AMOLED omogućava veći kontrast i nema staklo sa razmakom od emitirajućeg sloja velika prednost uređaja je to što se na sunčevom svjetlu ekran puno kvalitetnije vidi jer ne dolazi do tolike refleksije svjetlosti od samog zaslona [7]. Manje kvalitetni LCD zasloni imaju velikih poteškoća sa prikazom informacija na dnevnom svjetlu u tolikoj mjeri da se neki gotovo neiskoristivi. Na slici 25 se može vidjeti kako je lijevi uređaj (AMOLED) ima više nego zadovoljavajući prikaz i vidljivost na dnevnom suncu što je velika prednost s obzirom da se mobilni uređaji koriste u pokretu, a s obzirom da niti nemaju klasičnu tipkovnicu ako se zaslon ne vidi od sunca to predstavlja veliki problem.



Slika 25 AMOLED i AMLCD na dnevnom svjetlu

Izvor: <http://androidtopnews.com/back-to-basics-screen-technology-explained/>

Najveći nedostaci AMOLED-a su svakako cijena izrade zaslona, koja može biti vrlo visoka u odnosu na LCD, te kraći vijek trajanja zaslona od konkurencije. Glavni proizvođač AMOLED ekrana je Samsung. Oni su do danas izbacili nekoliko varijanti AMOLED od kojih svaka ide korak naprijed kako bi se uklonili svi mogući nedostaci. Neki od njih su :

- Super AMOLED- uvelike smanjena refleksija sunca od samog ekrana (puno bolja vidljivost pri direktnom sunčevom svjetlu)
- Super AMOLED Advanced- Jača svjetlina zaslona i veća rezolucija
- Super AMOLED Plus- PenTile matrica je zamijenjena klasičnom RGB sa 3 podpiksela
- HD Super AMOLED- povećana rezolucija
- Full HD Super AMOLED- najveći gamut, može prikazati čak 97% Adobe RGB prostora boja [7]

U budućnosti se od ove tehnologije očekuje još veći napredak i primjena u sve više uređaja. Trenutno se najviše radi na mogućnosti stvaranja fleksibilnih uređaja visoke rezolucije koji su načinjeni od polimera. Zahtjevi korisnika su sve veći kao i konkurentnost među glavnim proizvođačima što će zasigurno rezultirati velikim napretcima u ovom području što je pozitivna stvar za krajnjeg korisnika.



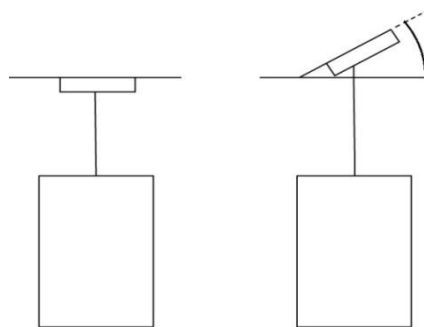
Slika 26 Fleksibilni uređaj

Izvor: <http://www.youmobile.org/blogs/entry/Reports-Samsung-Galaxy-Note-2-to-have-a-flexible-YOUM-AMOLED-display>

3. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio sastojao se od mjerenja boja na 4 mobilna uređaja i obradom izmjerenih podataka pomoću programskih alata. Mjerenje se vršilo u zamračenoj prostoriji kako vanjski faktori poput sunčevog svjetla nebi smetali svjetlini ekrana tako što bi ga posvijetlili i time utjecali na rezultat mjerenja. Uređaj se nalazio na 300 (+-10) mm od spektrometra. Spektrometar je bio fiksiran na stativu kako se nebi pomaknuo pri mjerenju.

Na mobilnom uređaju pokrenuta je skripta ChangeColors 1.3 koja je otvorena pomoću nekog od web preglednika na mobilnom uređaju. Skripta nudi mogućnost biranja vremenskog perioda prikazivanja boje kao i broj mjerenja. Generirana boja je na zaslonu bila 10 sekundi dok se broj mjerenja postavio na 130 (u stvari 125 pomaka), a svaka se boja razlikovala od prethodne u pomaku od 64. Uređaj je bio fiksiran na postolje kako bi se spriječilo pomicanje, a kasnije omogućila pokretnost s obzirom da se radila rotacija za 30° za iduće mjerenje svakog uređaja. Svjetlina je podešena na maksimalnu moguću koju uređaj podržava te je na svaki mjereni uređaj instalirana aplikacija Caffeine koja omogućava konstantno održavanje zaslona mobitela u budnom stanju kako se usred mjerenja ne bi ugasio. Skripta generira boje na ekranu koje se izmjenjuju a za to vrijeme kolorimetar (spojen na računalo preko USB porta) mjeri boju i zapisuje XYZ vrijednosti koje izmjeri u tablicu softwarskog alata. Mjerenje se odvija u 125 koraka za svaki uređaj pod kutom od 0°, a zatim od 30° (rotacija postolja na kojem se nalazi mobilni uređaj) kako bi se utvrdilo koja od promatranih tehnologija prikaza informacija funkcionira bolje kada se gleda pod kutom, tj. koji tip zaslona ima bolji prikaz informacije pod određenim kutom.



Slika 27 Otklon mjenog uređaja za određeni kut

Mobilni uređaji korišteni pri mjerenju:

1. Gigabyte smart gs2020
2. Samsung Galaxy trend plus
3. HTC One (m7)
4. Samsung Galaxy S3

Gigabyte gsmart i HTC su uređaji koji koriste AMLCD tehnologiju dok oba Samsung uređaja koriste AMOLED tehnologiju za prikaz na zaslonu.

Za mjerenje se koristio Konica Minolta cs200 spektorradiometar. Uređaj mjeri široki raspon osvjetljenja, od 0,01 cd/m² do 20.000.000 cd/m², s mjernim kutem od 0.1°. Uz mjerni uređaj korištena je programska podrška CS-S10w za računalo koja služi kao alat za prikaz i upis vrijednosti mjerenih spektorradiometrom.



Slika 28 Mjerni uređaj- CS 200

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



Slika 29 Zaslom mjernog uređaja

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

3.1. Rezultati mjerenja i diskusija

3.1.1. Usporedba mjerenja pod različitim kutovima

Kako bi se mjerenja dodatno obradila i vrijednosti prebacile iz XYZ u $L^*a^*b^*$ prostor boja koristio se MATLAB. MATLAB je napredno interaktivno programsko okruženje za obradu brojčanih vrijednosti, stvaranje grafičkih prikaza i programiranja. Naziv MATLAB je kratica od engleskih riječi MATrix LABoratory. Konverzija CIELAB prostor provedena je funkcijom `xyz2lab()`. Funkcija konvertira CIEXYZ vrijednosti u odgovarajuće CIELAB vrijednosti funkcijom `D50/2`, gdje D50 predstavlja izvor svjetla, a 2 kut promatranja standardnog promatrača od 2°. Nakon pretvorbe u $L^*a^*b^*$ prostor funkcijom `de()` određena je kolorimetrijska razlika (ΔE) između vrijednosti dobivenih pod kutom od 0 i 30 stupnjeva za srednje vrijednosti, medijane, minimume i maksimume svakog uređaja. Korištene funkcije su `mean()` za srednju vrijednost, `median()` za medijan, `min()` za minimume te `max()` za maksimume. Te vrijednosti nam govore o svakom uređaju zasebno, tj. o tome kakve tehnologija koju koristi ima mogućnosti prikaza potpuno iste informacije na istom zaslonu, ali gledane pod različitim kutom. Činjenica da je uređaj bio pomaknut za određeni kut znači da će doći do određenog pomaka i gubitka primarne informacije s obzirom na količinu otklona uređaja. To pokazuje koji od ovih uređaja ima mogućnost točnijeg prikaza čak i pod određenim kutom što omogućava da se informacija vidi bez obzira da li se gleda direktno ili ne. Rezultati mjerenja su prikazani u Tablici 1.

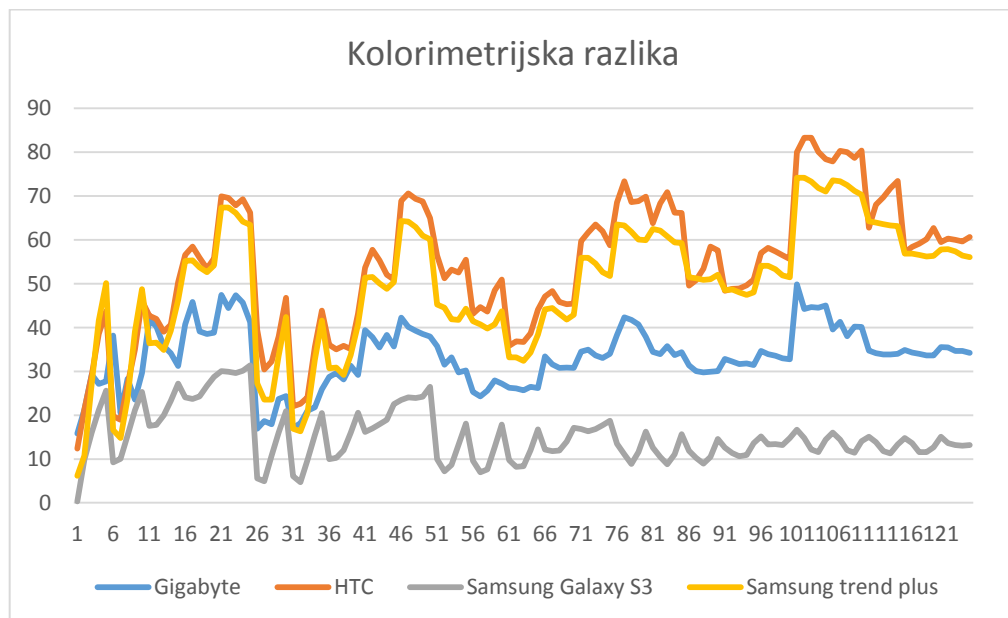
Tablica 1 Rezultati mjerenja- promjena kuta

Uređaj	(ΔE) Srednja vrijednost	(ΔE) Median	(ΔE) Minimum	(ΔE) Maksimum
Gigabyte gsmart	33.24	33.81	15.80	49.82
HTC One	53.77	55.58	12.40	83.31
Samsung trend plus	49.19	51.43	6.15	74.17
Samsung Galaxy S3	15.17	13.64	0.31	31.33

Prema rezultatima jasno je vidljivo da se izrazito najmanja odstupanja događaju kod Samsunga Galaxy koji koristi tehnologiju AMOLED za prikaz informacija na zaslonu. Ostali uređaju su relativno uravnoteženi u svojim odstupanjima ako bi

se promatrale sve vrijednosti. Međutim, najveća varijacija srednje kolorimetrijske vrijednosti je kod Uređaja HTC One, isto kao i median i maksimum. Time je taj uređaj zapravo pozicioniran najslabije na ljestvici promatranih i može se zaključiti da se kod njega najviše primjećuje razlika u kutu promatranja što je sukladno tehnologiji AMLCD, jer kod nje s obzirom na način izrade dolazi do pada kvalitete prikaza kada se informacije na zaslonu promatraju pod kutom. S obzirom da se radi o SuperLCD uređaju koji ima izrazito jaku svjetlinu, nagibom uređaja pod određeni kut događa se i veći gubitak kolorimetrijske vrijednosti koja je izmjerena okomito na uređaj. Kada bi taj uređaj promatrali sa strane slika bi bila bitno drugačija i bljeđa. Gigabyte gsmart (AMLCD) je na drugom mjestu dok je ispod njega rangiran Samsung trend plus (AMOLED) čije su razlike dosta velike za jedan AMOLED uređaj (izuzev minimuma koji je drugi po kvaliteti), ali to može biti posljedica više čimbenika, a najvjerojatniji je ipak stariji tip zaslona.

Grafički prikaz prikazuje svih 125 generiranih podataka kolorimetrijske razlike dobivenih funkcijom u MATLABU. Na Dijagramu 1 se još jače vidi kolika je razlika između tih dviju tehnologija kod dva primjerka mobilnih uređaja.



Dijagram 1 Komkolorimetrijska razlika pojedinih boja pri mjerenju pod kutem

3.1.2. Usporedba uređaja sa sRGB vrijednostima

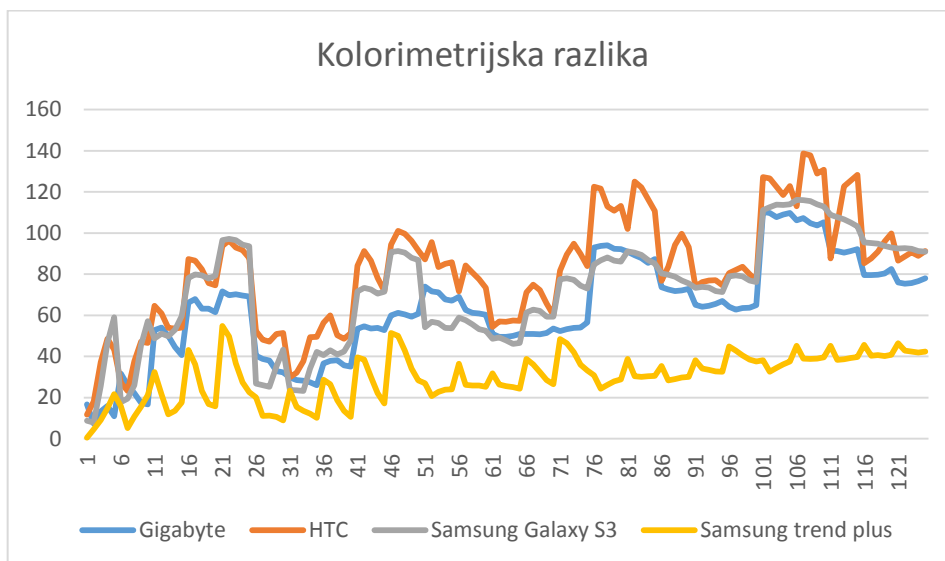
Za utvrđivanje koji je od uređaja najbližiji sRGB vrijednostima skripte koja se je koristila za generiranje boja na zaslonu, sve prebačene vrijednosti u L*a*b* prostor boja svakog uređaja uspoređivale su se sa sRGB vrijednostima koje su također transformirane u L*a*b* prostor funkcijom *rgb2lab()*.

Rezultati su prikazani u Tablici 2.

Tablica 2 Rezultati mjerenja-s RGB

Uređaj	(ΔE) Srednja vrijednost	(ΔE) Median	(ΔE) Minimum	(ΔE) Maksimum
Gigabyte gsmart	62.72	63.25	7.35	110.26
HTC One	81.00	83.64	11.70	138.62
Samsung trend plus	29.77	30.33	0.50	54.87
Samsung Galaxy S3	70.99	75.48	7.87	116.19

Najboljim se pokazao uređaj Samsung trend plus koji ima izrazito manju kolorimetrijsku razliku u usporedbi sa ostalim uređajima. Najveće su razlike uočene kod HTC modela koji je imao najveće kolorimetrijske razlike u odnosu na sRGB prostor boja. Grafikon prikazuje kolorimetrijsku razliku mjerenog uređaja pod kutom od 0 stupnjeva i sRGB vrijednosti gdje se kao i u tablici vidi kako HTC najviše odskače. Kao podaci za grafikon uzete su svih 125 vrijednosti za svaki uređaj i 125 normaliziranih vrijednosti RGB skripte.



Dijagram 2 Kolorimetrijska razlika pojedinih boja u odnosu na sRGB prostor boja

3.1.3. Gamuti

Za svaki od mjerenih uređaja i dobivene vrijednosti (mjereno pod oba definirana kuta) izračunat je volumen gamuta. Ovime se želi prikazati koji od uređaja može prikazati najveći opseg boja.

Rezultati su prikazani u Tablici 3.

Tablica 3 Gamuti uređaja

Uređaj	Volumen
Gigabyte gsmart	2,1862E+06
Gigabyte gsmart 30	1,1266E+06
HTC One	3,9159E+06
HTC One 30	1,5451E+06
Samsung Galaxy S3	3,4241E+06
Samsung Galaxy S3 30	1,9407E+06
Samsung trend plus	1,1788E+06
Samsung trend plus 30	8,1884E+05

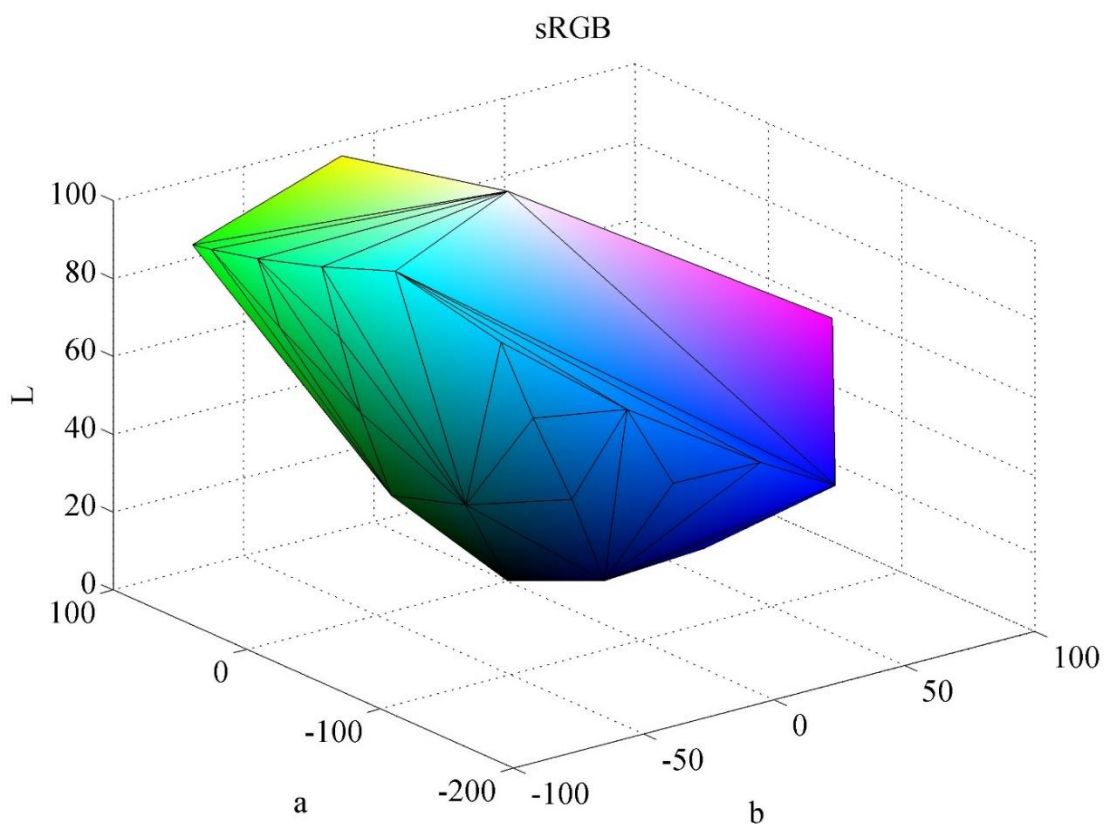
Oznaka 30 pored imena uređaja označava da su rezultati dobiveni iz mjerenja pod kutom od 30°, dok je mjerenje iznad mjerenje za isti taj uređaj pod kutom od 0°. Tablica 4 prikazuje postotak smanjenja gamuta za svaki uređaj mjereno pod 30 stupnjeva u odnosu na okomito mjerenje.

Tablica 4 Smanjenje volumena u postocima

Uređaj	Volumen
Gigabyte gsmart	48%
HTC	60,5%
Samsung Galaxy S3	43%
Samsung trend plus	30,4%

Iz priloženih rezultata se vidi kako gamut uređaja izrazito opada ukoliko ga se promatra pod kutom. Razlike u prikazu su nešto veće kod AMLCD tehnologije (uređaji Gigabyte i HTC) dok se kod AMOLED-a (primarno kod Samsunga Galaxy S3) očekivano smanjuje, no ipak za manji postotak. Posljedica je to načina prikaza pojedine tehnologije što pokazuje da AMOLED uređaji imaju kvalitetniji prikaz informacije tj. manji gubitak gamuta ukoliko se promatra pod kutom od LCD uređaja. Kao uređaj s najvećim gamutom ovdje se izdvaja HTC

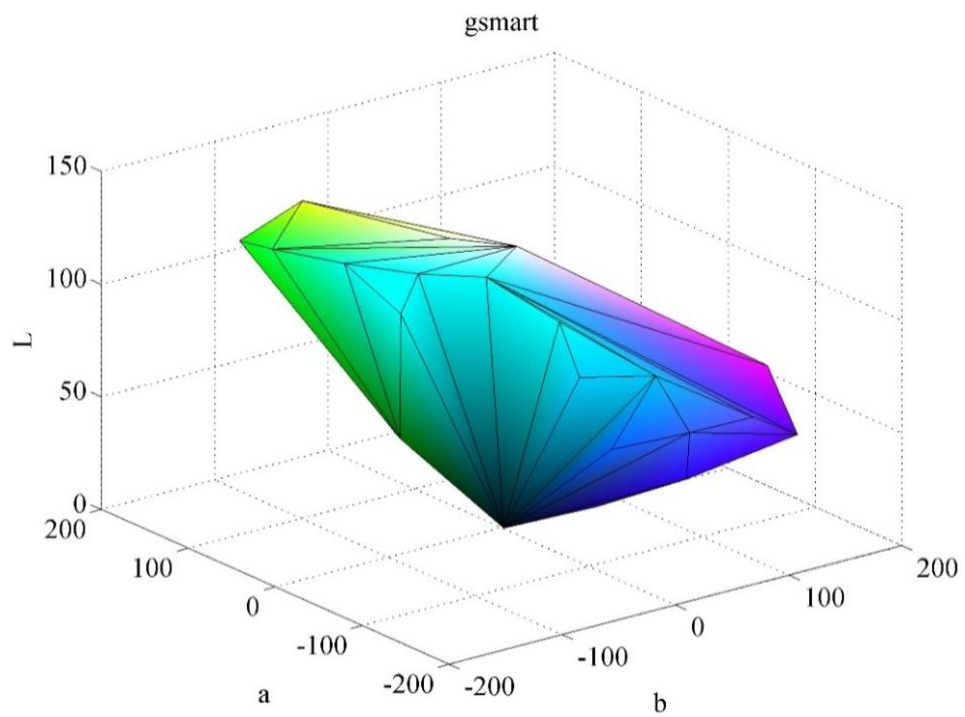
zbog svoje SuperLCD tehnologije koja ga čini najsvjetlijim od svih uređaja. Kako bi se smanjenje volumena jasnije prikazalo generirani su grafički prikazi gamuta u $L^*a^*b^*$ prostoru boja za svako mjerenje iz kojih se jasno vidi smanjenje gamuta uređaja promatranog pod kutem. Niže prikazane slike 31,33,35 i 37 za svaki uređaj prikazuju mjerenje koje se odvija direktno, okomito na uređaju, pod kutem od 0° . Slike 32,34,36 i 38 ispod prikazuju gamut uređaja kada se mjerenje odvijalo pod kutem od 30 stupnjeva. Slika 30 prikazuje generirani grafikon za sRGB prostor koji prikazuje cjelokupni prostor boja koje su se prikazivale na zaslonima mjerenih uređaja.



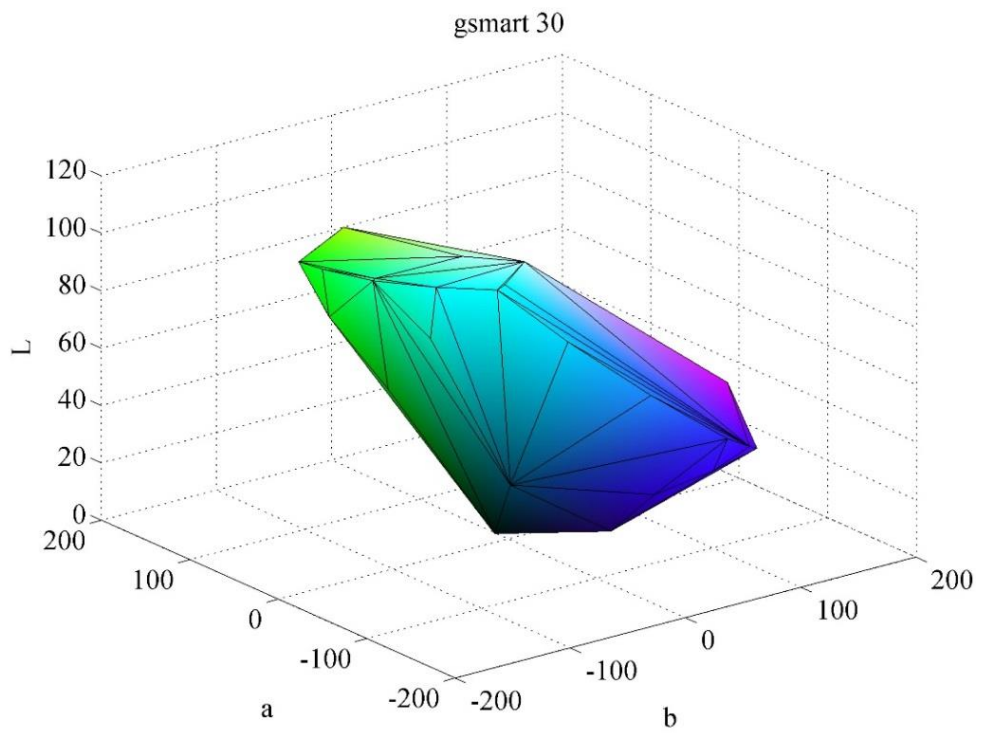
Slika 30 sRGB prostor

sRGB prostor prikazan na Slici 30 prikazuje prostor boja generiran pomoću skripte na mobilnim uređajima.

Gigabyte gsmart



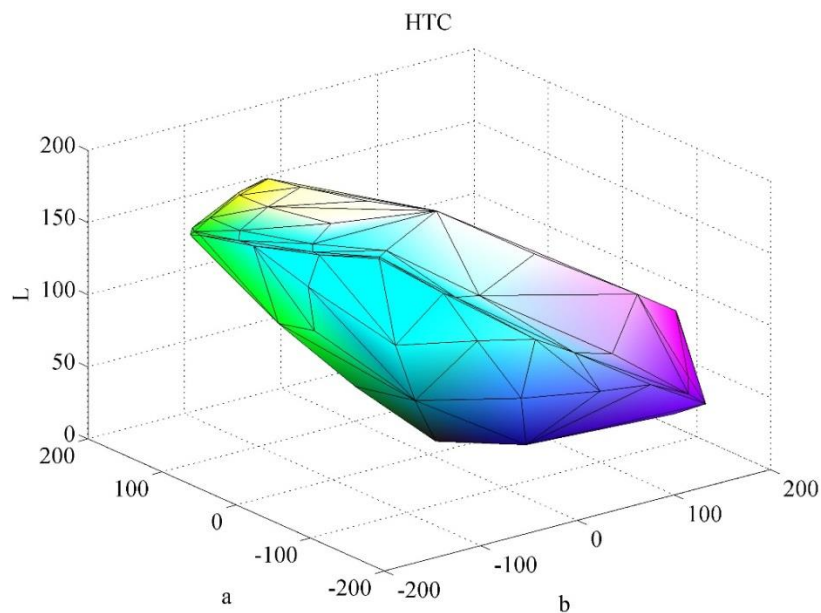
Slika 31 Gigabyte gsmart



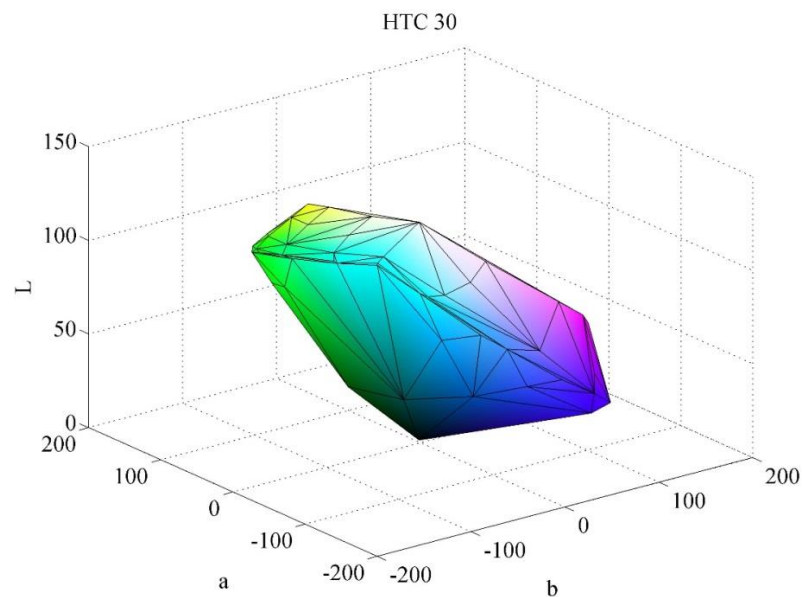
Slika 32 Gigabyte gsmart 30

Kod Gigabyte uređaja vidi se pad opsega gamuta kod promatranja uređaja pod kutom. Ta razlika je značajnih 51% što znači da se preko pola informacije izgubilo. To ne znači da uređaj nije upotrebljiv, međutim vizualni stimulus koji ostavlja direktan pogled na uređaj je bitno drugačiji ako se uređaj promotri pod kutom, a što je kut veći to je i manji gamut odnosno veći gubitak. S obzirom da se radi o AMLCD uređaju ovo je normalna pojava jer je to jedna od većih poteškoća s kojom se susreću dizajneri pri izradi uređaja.

HTC One



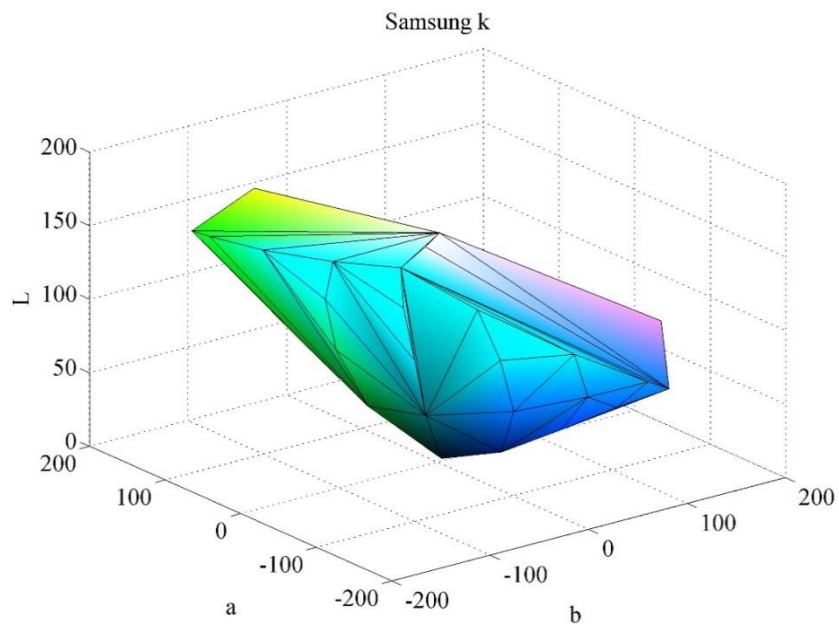
Slika 33 HTC One



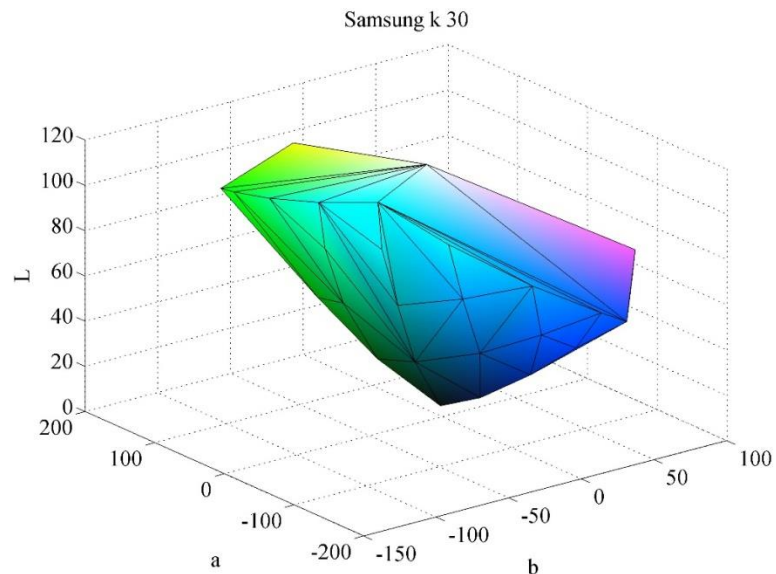
Slika 34 HTC One 30

Kod HTC uređaja događa se zamjetan pad volumena gamuta od 39%. Ovaj postotak je nešto manji od Gigabytea što je posljedica korištenja nešto kvalitetnijeg i superiornijeg SuperLCD-a pri izradi uređaja. Ovo je naprednija vrsta zaslona koja konkurira AMOLED-u u pogledu vidljivosti pod kutem. S obzirom da je gamut manji od 39% uređaj je i dalje vrlo vidljiv pod kutom od 30 stupnjeva međutim gubi određene saturiranije dijelove gamuta.

Samsung Galaxy S3



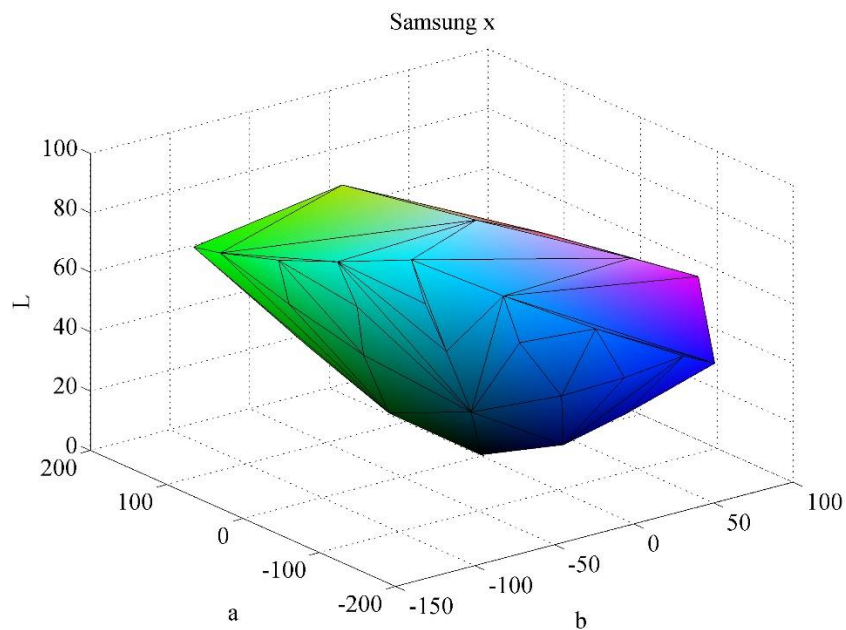
Slika 35 Samsung Galaxy S3



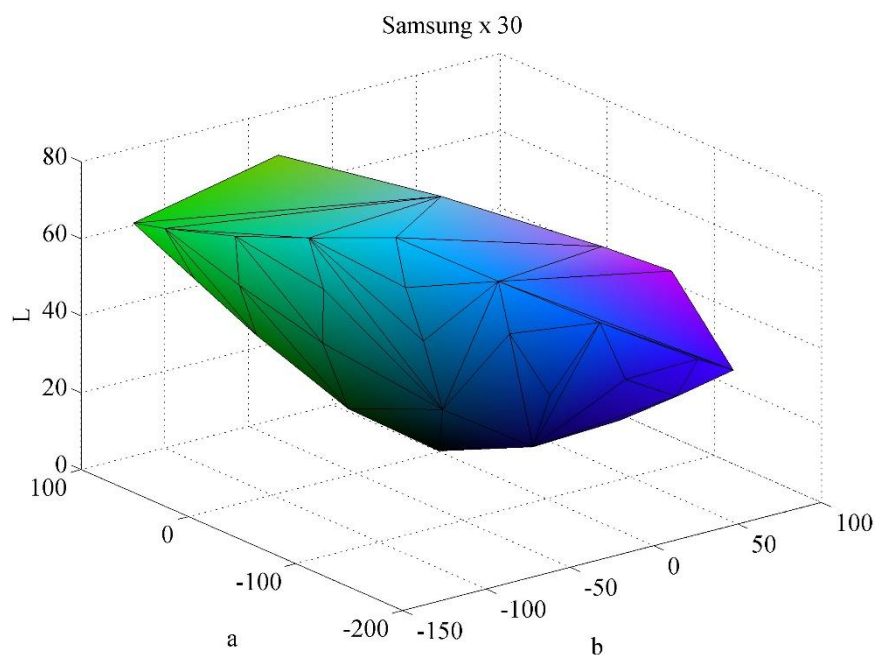
Slika 36 Samsung Galaxy S3 30

Samsung Galaxy S3 slijedi HTC po gamutu što je i očekivano s obzirom da koristi AMOLED tehnologiju za prikaz koja je u pravilu nešto kontrastnija i bolje prikazuje boje pod kutom tako da ima i manje gubitaka od klasičnog AMLCD-a. Ovdje se javlja gubitak od 36% što je drugi rezultat po kvaliteti od svih izmjerenih uređaja.

Samsung trend plus



Slika 37 Samsung trend plus



Slika 38 Samsung trend plus 30

Samsung trend plus se ne može pohvaliti velikim gamutom i u postocima ima gubitak gamuta od čak 69%. Radi se o starijoj verziji AMOLEDa, ekranu koji po svojim karakteristikama pripada srednjem ili nižem rangu i uređaju koji nije u vrhu kvalitetom i mogućnostima.

4. Zaključak

Kolorimetrijska razlika u prikazu informacija između raznih mobilnih uređaja ovisi o brojnim faktorima međutim glavni je svakako tehnologija koja se koristi pri izradi. AMOLED se, prema rezultatima mjerenja, pokazao kao stabilna tehnologija s nešto manje odstupanja (pogotovo naprednija verzija kod Samsunga Galaxy). Međutim, ovo istraživanje je pokazalo kako i AMLCD tehnologija koja se koristi pri izradi zaslona može ne samo držati korak već i u nekim svojim inačicama biti bolja od AMOLED-a u polju gamuta i kvalitete prikaza boje. Za detaljnije analize ipak bi trebalo usporediti puno više uređaja kao i odrediti koji se rang uređaja uspoređuje što je danas vrlo teško za učiniti jer svi parametri nisu ujednačeni.

Promatrani rezultati pod kutom su pokazali premoć AMOLED tehnologije kod naprednijih verzija i to je nešto čemu će svi oni koji rade na unapređenju LCD tehnologije svakako težiti jer trenutno samo njihove najbolje verzije donekle zadovoljavaju visoke standarde postavljene od strane konkurencije. Kontras je nešto u čemu je AMOLED trenutno bolji i što u bližoj budućnosti vjerojatno neće biti tako lagano promijeniti. Sama činjenica da se crna dobiva gašenjem dioda predstavlja veliku prednost bilo da gledamo iz kolorimetrijske perspektive ili iz perspektive uštede energije što nije nikako zanemarivo kada se pogledaju današnji pametni telefoni. Isto tako, trenutno je sama debljina zaslona ipak manja, iako AMLCD tehnologija ide u dobrom smjeru te se sve više smanjuje debljina površinskog stakla. Potrebno je napomenuti i da je AMOLED tehnologija nešto vjernije prikazivala vrijednosti generirane skriptom (uspoređujući kolorimetrijsku razliku između sRGB prostora boja i prikazanog na zaslonu, Samsung trend plus je bio uvjerljivo najbolji) međutim tu veliku ulogu igra i maksimalna moguća svjetlina na uređajima koja je kod HTC-a ipak bila najviša, jer SuperLCD tehnologija to omogućava, što je boje možda učinilo donekle svjetlijima.

Izbor je uvijek na krajnjem korisniku i njegovim preferencama. Želi li veliku svijetlinu i prirodan izgled boja odlučit će se za AMLCD, a ukoliko mu je bitniji kontrast i zasićenost boja tada je AMOLED bolji izbor. Zapravo ne postoji

pravilo i ne može se reći koja je tehnologija bolja iako svaka ima određene karakteristike koje su kvalitetne i poželjne. Ne može se jasno predvidjeti koja od ovih tehnologija će preuzeti primat s obzirom da ih se paralelno razvija i pokušava ukloniti sve nedostatke koje imaju ili ih barem prikriti na neki način. Obje tehnologije definitivno imaju svoju lijepu perspektivu nakon što su već stekle svoje poklonike te će biti zanimljivo vidjeti u kojem će se smjeru dalje razvijati kako u bližoj tako i u daljoj budućnosti.

5. Literatura

1. R. G. Kuehni (2003). *Color space and its division*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
2. D. A. Kerr (2010). *The CIE XYZ and xyY Color Spaces*, dostupno na: http://graphics.stanford.edu/courses/cs148-10-summer/docs/2010--kerr--cie_xyz.pdf, 5.4.2014.
3. A. Ford, A. Roberts (1998). *Colour Space Conversion*, dostupno na: <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>, 8.7.2014.
4. D. Pascale (2002). *A review of RGB Color Spaces... from xyY to R'G'B'*, The BabelColor Company, Montreal
5. <http://www.color-blindness.com/2007/01/18/cie-1931-color-space/>, Colblindor, *CIE 1931 Color Space*, dostupno 20.6.2014.
6. H. S. Fairman, M.I H. Brill, H. Hemmendinger (1996). *How the CIE 1931 Color-Matching Functions Were Derived from Wright–Guild Data*, New jersey
7. A. K. Bhowmik, Z. Li, P. J. Bos (2008). *Mobile displays, Technology and Applications*, John Wiley & Sons, England
8. X. Chen, Y. Chen (2011). *How is Energy Consumed in Smartphone Display Applications?*, dostupno na: <http://www.hotmobile.org/2013/papers/full/17.pdf>, 6.6.2014.
9. H. J. Kim, B. D. Chin (2013). *Technologies for AMOLED Displays*, dostupno na: http://photonicsociety.org/newsletters/apr13/RH_Amoled.html, 13.8.2014.

6. Popis slika

Slika 1 Ton, zasićenje, svjetlina	2
Slika 2 Forsiusova skala boja.....	5
Slika 3 Sferni prikaz	6
Slika 4 Newtonova kružnica boja	7
Slika 5 Mayerov tetraedar	8
Slika 6 Mayerova piramida boja	9
Slika 7 Piramida boja	10
Slika 8 Munsellov prostor boja Izvor: http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system	11
Slika 9 CIE RGB.....	13
Slika 10 CIE XYZ prostor boja.....	14
Slika 11 L*a*b* vrijednosti i	15
Slika 12 CIELAB Izvor: http://www.sapdesignguild.org/goodies/glossary_color/index1.htm	16
Slika 13 sRGB prostor boja Izvor: http://en.wikipedia.org/wiki/SRGB	17
Slika 14 Polje preglednosti	19
Slika 15 Metode LCD zaslona	20
Slika 16 Shematski prikaz- reflektivni LCD Izvor: http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD	21
Slika 17 Shematski prikaz- transflektivni LCD Izvor: http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD	22
Slika 18 Shematski prikaz- transmisijski LCD Izvor: http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/transmissive+LCD	23
Slika 19 Shematski prikaz LCD zaslona.....	24
Slika 20 Prolazak svjetlosti kroz polarizatore	25
Slika 21 Shematski prikaz pasivne matrice	26
Slika 22 Shematski prikaz aktivne matrice	26
Slika 23 Struktura AMOLED zaslona	27
Slika 24 RGB i PenTile.....	28
Slika 25 AMOLED i AMLCD na dnevnom svijetlu	29
Slika 26 Fleksibilni uređaj.....	30

Slika 27 Otklon mjerenog uređaja za određeni kut.....	31
Slika 28 Mjerni uređaj- CS 200.....	32
Slika 29 Zaslona mjernog uređaja.....	32
Slika 30 sRGB prostor.....	37
Slika 31 Gigabyte gsmart	38
Slika 32 Gigabyte gsmart 30	38
Slika 33 HTC One	40
Slika 34 HTC One 30	40
Slika 35 Samsung Galaxy S3.....	41
Slika 36 Samsung Galaxy S3 30.....	41
Slika 37 Samsung trend plus.....	42
Slika 38 Samsung trend plus 30.....	42

8. Popis tablica

Tablica 1 Rezultati mjerenja- promjena kuta	33
Tablica 2 Rezultati mjerenja-s RGB	35
Tablica 3 Gamuti uređaja	36
Tablica 4 Smanjenje volumena u postocima	36
Tablica 5 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart	50
Tablica 6 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart po kutom do 30 stupnjeva.....	54
Tablica 7 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One	58
Tablica 8 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One pod kutom od 30 stupnjeva.....	62
Tablica 9 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3.....	66
Tablica 10 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3 pod kutom od 30 stupnjeva.....	70
Tablica 11 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus.....	74
Tablica 12 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus pod kutom od 30 stupnjeva.....	78

9. Popis dijagrama

Dijagram 1 Komlorimetrijska razlika pojedinih boja pri mjerenju pod kutem.....	34
Dijagram 2 Kolorimetrijska razlika pojedinih boja u odnosu na sRGB prostor boja	35

10. Prilozi

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart spektrometrom.

Tablica 5 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart

	X	Y	Z
1	0,11	0,3	1,08
2	4,13	2,34	0,68
3	17,13	9,07	1,64
4	37,98	19,81	3,02
5	59,87	31,79	3,69
6	4,84	10,82	1,67
7	8,76	12,56	2,2
8	20,74	18,73	2,1
9	42,04	30,26	4,18
10	64,84	42,18	3,89
11	22,16	47,18	5,22
12	25,43	48,61	4,93
13	38,53	56,04	6,43
14	59,8	66,9	7,9
15	82,12	77,25	8,52
16	52,45	109,41	11,99
17	52,42	107,39	11,2
18	67	115,35	13,31
19	86,04	124,79	13,44
20	109,76	136,17	14,65
21	80,55	172,5	18,26
22	84,28	174,13	19,52
23	95,38	180,19	19,43
24	117,18	191,81	19,45
25	142,35	205,57	21,86
26	4	1,98	20,2
27	7,02	3,27	18,5
28	18,42	8,95	18,83
29	40,86	21,27	19,93
30	63,96	33,92	20,89
31	9,08	11,61	21,37
32	11,62	12,76	19,77
33	24,2	19,7	20,71
34	44,27	29,99	21,03
35	68,03	42,02	20,55
36	27,18	48,74	25,36
37	28,29	47,83	23,79

38	40,27	54,44	23,95
39	60,66	64,75	24,14
40	84,32	76,68	25,3
41	53,54	107,15	30,6
42	54,38	105,83	28,7
43	66,55	112,14	29,75
44	85,25	121,33	28,52
45	111,76	135,15	30,79
46	85,16	174,78	37,48
47	86,74	175,1	36,78
48	98,7	181,43	37,33
49	118,92	191,5	38,63
50	144,73	205,24	38,39
51	17,3	6,74	94,31
52	20,64	8,72	90,92
53	33,18	15,05	90,21
54	53,19	26,09	89,08
55	74,81	37,7	86,27
56	20,61	15,13	92,75
57	24,37	17,79	89,14
58	35,55	23,47	87,73
59	55,4	33,61	86,88
60	79,04	45,99	84,54
61	38,76	52,06	97,42
62	40,62	52,28	92,86
63	52,27	58,46	91,64
64	72,81	69,23	91,25
65	94,47	80,05	87,87
66	66,05	111,93	101,06
67	66,71	109,94	98,26
68	78,89	116,55	96,49
69	98,39	126,29	95,56
70	121,82	137,85	94,61
71	98,74	179,32	107,57
72	99,34	179,56	102,99
73	109,99	184,89	103
74	131,19	196,36	102,91
75	154,12	208,27	99,07
76	40,24	16,09	215,48
77	41,14	16,54	209,69
78	54,91	23,37	209,59
79	74,03	33,88	207,89
80	96,79	46,02	203,72

81	42,4	24,11	211,25
82	45,38	25,51	207,08
83	57,73	32,02	208,1
84	77,65	42,84	205,27
85	98,87	53,35	201,59
86	59,99	60,13	216,3
87	60,92	59,17	209,44
88	72,12	65,22	208,26
89	92,25	75,44	207,08
90	115,49	87,58	203,06
91	87,27	118,25	220
92	87,74	117,47	214,03
93	99,04	122,83	213,79
94	118,27	133,02	212,49
95	142,37	144,99	208,78
96	117,92	185,86	226,11
97	120,14	186,67	219,76
98	130,2	192,32	219,46
99	150,41	202,57	217,68
100	173,69	214,93	211,96
101	64,93	24,07	356,61
102	67,36	25,66	355,28
103	80,44	32,99	355,74
104	99,74	42,59	355,45
105	124,02	55,57	356,45
106	69,72	33,98	357,55
107	71,2	34,22	355,51
108	83,63	41,09	355,28
109	103,02	51,42	354,86
110	127,16	63,85	355,88
111	83,6	66,47	359,56
112	88,12	68,47	359,16
113	98,61	73,77	358,49
114	118,13	82,89	357,65
115	142,53	95,96	357,96
116	113,18	126,56	366,49
117	114,49	125,99	363,57
118	125,9	131,79	364,57
119	145,86	141,6	364,78
120	168,69	151,8	363,26
121	145,09	196,01	373,45
122	147,1	196,52	369,5
123	158,47	202,59	370,2

124	176,75	211,9	370,03
125	201,44	224,13	368,73
126	201,57	224,39	367,78
127	201,43	224,48	369,25
128	203,1	225,64	369,93
129	200,64	223,63	368,63
130	202,06	224,85	370,7

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart spektrometrom pod kutom od 30 stupnjeva.

Tablica 6 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Gigabyte gsmart po kutom do 30 stupnjeva

	X	Y	Z
1	0,01	0,31	0,24
2	2,32	1,82	0,92
3	6,18	3,35	1,07
4	16,56	8,6	1,31
5	28,95	14,84	1,74
6	2,25	4,14	1,64
7	2,79	4,12	0,44
8	7,62	6,64	1
9	18,27	12,35	1,32
10	31,2	19,36	2,01
11	9,39	20,07	3,56
12	9,74	19,67	2,99
13	16,03	22,95	2,91
14	25,15	27,34	3,18
15	37,46	33,43	3,01
16	22,02	49,02	5,23
17	23	48,46	6,28
18	27,38	50,11	5,29
19	37,31	55,45	5,39
20	50,13	61,71	6,18
21	39,75	85,55	9,66
22	40,11	85,47	9,6
23	45,03	87,76	11,12
24	54,95	93,11	10,62
25	67,59	99,51	9,58
26	2,09	0,59	9,78
27	3,25	1,63	9,96
28	7,88	3,52	9,29
29	18,43	9,46	9,95
30	30,36	15,41	9,47
31	2,91	3,96	9,54
32	3,58	4,31	8,51
33	8,79	7,4	8,45
34	19,63	12,68	10,11
35	30,95	18,25	9,89
36	10,9	20,2	11,74
37	11,14	19,36	11,49

38	16,31	22,47	11,36
39	26,55	27,42	12,98
40	38,74	33,35	11,66
41	23,88	47,98	14,07
42	23,24	47,19	13,84
43	28,55	50,02	13,47
44	38,62	55,08	15,01
45	51,11	61,18	14,01
46	41,04	85,62	18,33
47	42,04	86,38	16,54
48	45,73	87,7	17,29
49	55,25	92,78	18,42
50	67,77	99	17,23
51	8,38	3,3	44,07
52	8,76	3,49	41,98
53	14,57	6,67	41,86
54	23,37	10,9	40,67
55	35,43	17,26	38,89
56	9,85	6,68	43,85
57	10,98	7,23	41,17
58	14,93	9,44	39,94
59	24,15	14,41	39,52
60	37,9	21,5	39,74
61	16,86	22,54	43,94
62	17,22	21,8	42,39
63	21,09	23,82	41,18
64	31,08	28,41	41,44
65	43,59	34,84	39,78
66	28,98	49,66	46,04
67	29,31	49,59	42,37
68	34,96	52,52	44,44
69	44,45	56,79	43,73
70	55,75	62,03	41,26
71	45,78	86,82	48,02
72	47,36	88,08	48,43
73	51,47	90,03	47,33
74	61,15	94,9	45,83
75	73,71	100,98	46,69
76	19,04	6,79	104,64
77	19,74	7,75	101,3
78	24,63	10,26	99,98
79	33,74	15,27	99,4
80	46,84	21,57	98,03

81	20,27	10,33	101,36
82	19,98	10,02	97,56
83	25,32	13,24	97,43
84	34,25	17,62	97,89
85	47,14	24,04	95,89
86	26,64	24,94	102,19
87	27,38	24,41	101,78
88	31,86	27,07	99,86
89	41,28	32,08	98,95
90	53,46	38,44	97,28
91	39,72	53,3	105,36
92	39,54	52,79	102,37
93	43,6	54,65	100,95
94	53,81	59,53	100,54
95	66,06	65,7	99,31
96	56,45	90,97	106,83
97	57,48	91,46	105,51
98	60,5	92,85	102,78
99	70,04	97,66	102,76
100	82,86	104,64	100,03
101	33,13	12,3	182,68
102	33,38	11,63	180,88
103	39,74	15,45	180,84
104	49,04	20,23	181,37
105	61,89	27,31	181,62
106	33,15	14,52	180,89
107	35,75	16	181,13
108	40,05	17,68	181,22
109	49,15	23,14	179,78
110	61,74	29,34	179,68
111	40,5	29,3	181,57
112	40,86	29,01	181,01
113	46,27	32,31	182,61
114	55,69	36,56	182,45
115	67,13	41,74	181,15
116	53,33	57,25	184,44
117	54,45	57,4	184,48
118	58,84	59,32	184,46
119	68,03	63,51	184,98
120	80,25	69,34	183,58
121	70,41	95,84	188
122	71,12	95,25	186,86
123	75,9	98,08	188,28

124	84,38	101,92	187,1
125	99,18	109,91	187,53
126	97,47	108,8	186,06
127	97,68	108,88	186,99
128	97,11	108,33	185,02
129	98,98	109,2	187,03
130	98,6	109,06	186,73

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One spektrometrom.

Tablica 7 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One

	X	Y	Z
1	0,99	0,78	0,66
2	6,83	3,61	0,84
3	37,18	19,05	3,81
4	82,35	42,63	4,36
5	119,25	61,4	7,39
6	8,45	14,82	3,41
7	13,2	15,98	3,1
8	41,39	29,91	3,24
9	89,84	54,27	7,11
10	130,94	74,76	8,15
11	35,79	71,86	11,27
12	44,29	76,23	12,3
13	70,31	85,79	11,66
14	122,93	113,3	16,18
15	170,55	135,78	16,41
16	86,17	172,78	25,09
17	97,53	181,96	26,89
18	131,68	201,59	28,68
19	176,58	218,32	30,05
20	237,2	251,59	34,17
21	138,41	277,65	40,9
22	153,6	295,55	43,05
23	194,4	323,6	46,69
24	257,18	363,62	51,32
25	308,55	382,65	52,6
26	4,53	1,88	24,19
27	11,42	4,95	24,27
28	41,81	20,49	27,36
29	88,54	44,53	30,21
30	128,75	65,06	36,14
31	10,87	15,11	23,4
32	18,02	18,19	25,97
33	44,34	29,55	23,78
34	95,49	54,84	25,52
35	131,47	70,31	17,47
36	40,66	74,29	29,81
37	44,05	75,53	24,75
38	73,88	88,21	25,77
39	124,77	110,17	30,57

40	165,86	120,33	23,2
41	92,92	179,67	42,28
42	94,28	181,23	35,75
43	126,49	200,25	37,28
44	184,56	226,51	40,83
45	234,28	241,36	40,7
46	146,35	288,63	54,97
47	149,29	294,07	49,58
48	183,46	319,94	52,45
49	252,28	363,32	56,85
50	316,24	391,98	60,61
51	21,75	7,75	110,08
52	26,24	8,98	113,05
53	56,34	24,7	116,45
54	108,4	50,69	130,35
55	152,22	73,54	139,65
56	28,5	21,96	113,82
57	29,6	18,27	113,21
58	60,46	33,56	116,6
59	112,47	59,68	117,3
60	156,55	80,09	107,33
61	52,99	76,97	111,57
62	61,6	81,98	121,42
63	97,15	99,71	130,21
64	146,15	120,2	125,62
65	190,9	133,31	112,61
66	107,98	185,53	123,47
67	111,49	190,37	116,32
68	135,54	202,7	110,42
69	202,15	236,86	115,98
70	259,45	254,92	128,05
71	166,92	303,55	138,85
72	167	307,97	114,63
73	185,97	324,05	104,84
74	256,51	369,07	109,86
75	334,77	406,88	118,48
76	45,34	13,84	246,65
77	51,04	16,76	251,13
78	80,21	31,65	257,14
79	137,71	60,5	279,67
80	188,94	86,38	298,79
81	55,1	31,17	256,12
82	54,48	23,84	259,66

83	81,31	35,87	266,58
84	147,87	69,67	289,12
85	193,31	92,29	279,96
86	91,3	99,11	279,66
87	86,86	84,64	278,6
88	106,1	84,12	285,28
89	172,81	115,06	298,54
90	228,29	145,36	290,12
91	139,24	198,23	282,11
92	144,16	201,35	290,68
93	171,17	216,93	302,3
94	245,15	255,09	322,37
95	297,5	269,2	306,1
96	200,24	322,19	298,33
97	202,2	327,5	284,9
98	218,79	340,95	270
99	280,77	380,35	267,59
100	376,84	430,5	294,22
101	68,16	21,49	369,58
102	73,86	24,49	376,3
103	103,85	38,92	389,88
104	161,01	67,57	411,15
105	223,2	98,53	450,7
106	81,82	40,08	397,32
107	77,87	29,37	395,14
108	102,43	40,1	409,69
109	163,25	71,28	432,02
110	234,1	105,69	467,94
111	122,44	111,19	441,3
112	111,69	85,47	440,94
113	120,32	75,26	442,65
114	183,33	104,29	461,79
115	263,44	143,14	492,91
116	184,59	226,73	484,81
117	180,86	214,65	491,45
118	194,33	208,32	499,22
119	246,38	222,17	510,51
120	337,39	269,52	534,31
121	242,02	342,81	498,24
122	248,15	350,16	508,13
123	270,61	366,53	521,83
124	331,01	400,16	531,85
125	437,32	457,6	573,24

126	435,96	456,65	572,05
127	438,13	458,78	573,77
128	443,05	463,67	578,48
129	439,26	460,31	576,32
130	441,17	461,79	577,06

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One spektrometrom pod kutom od 30 stupnjeva.

Tablica 8 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj HTC One pod kutom od 30 stupnjeva

	X	Y	Z
1	0,12	0,17	0,17
2	2,14	0,77	0,21
3	14,16	7,42	0,49
4	31,2	16,09	1,06
5	42,87	22,09	1,1
6	2,44	5,28	0,13
7	4,91	6,28	0,09
8	16,86	11,6	1,08
9	33,8	20,15	1,34
10	47,81	27,32	2,34
11	13,71	27,33	4,03
12	16,44	27,86	4,09
13	26,93	31,97	3,94
14	46,2	41,67	5,03
15	61,42	48,66	5,98
16	29,25	61,2	7,47
17	34,6	64,63	8,34
18	47,86	72,56	9,02
19	66,49	80,61	9,98
20	84,67	89,75	10,81
21	46,98	96,36	12,82
22	51,72	101,63	12,37
23	66,36	111,53	13,35
24	91,96	127,24	16,4
25	108,99	133,94	15,95
26	2,71	1,55	9,03
27	4,66	2,17	8,61
28	15,9	7,78	8,37
29	34,16	17,33	9,64
30	45,06	23,18	10,42
31	3,44	5,22	6,99
32	6,46	6,59	7,8
33	19,34	13,04	8,34
34	36,52	20,87	8,17
35	46,97	25	4,03
36	14,57	27,42	9,65
37	15,02	27,45	8,03

38	28,47	32,46	8,6
39	48,25	42,05	9,57
40	58,39	42,29	5,53
41	30,14	62,02	12,64
42	34	65,63	12,62
43	46,06	72,39	12,63
44	68,45	82,21	12,92
45	85,16	87,35	12,03
46	49,51	99,71	17,43
47	51,37	102,28	15,76
48	64,81	112,39	16,62
49	91,46	128,82	19,01
50	113,08	138,34	18,31
51	8,07	3,24	37,54
52	8,42	2,67	36,86
53	21,19	9,72	37,23
54	40,9	19,41	41,8
55	54,18	26,56	43,87
56	8,84	7,71	37,82
57	10,6	6,77	37,5
58	21,96	11,95	37,69
59	42,08	22,76	37,13
60	55	28,06	32,45
61	19,72	29,41	37
62	21,37	28,9	39,62
63	35,98	37,31	42,14
64	55,47	45,63	40,25
65	68,4	47,66	34,18
66	37,93	67,29	40,8
67	38,61	67,8	36,36
68	48,58	73,92	35,08
69	74,13	86,21	36,59
70	94,51	93,01	39,47
71	55,65	105,35	43,85
72	55,46	106,47	35,93
73	65,43	114,43	33,77
74	91,89	130,38	34,67
75	121,46	145,67	36,31
76	14,51	4,06	80,94
77	17,43	5,92	82,08
78	28,62	11,39	83,31
79	50,25	22,47	89,73
80	65,82	30,36	94,21

81	18,31	11,28	84,09
82	18,28	8,3	83,93
83	29,17	13,66	84,88
84	53,69	25,22	91,94
85	67,74	32,22	87,94
86	29,98	35,16	90,82
87	28,44	29,53	90,61
88	37,38	30,19	92,21
89	62,3	42,33	93,59
90	80,94	51,81	91,85
91	48,41	71,71	93,61
92	51,29	73,86	96,25
93	61,21	79,04	99,5
94	89,9	93,95	104,5
95	107,82	98,16	97,05
96	67,29	112,26	96,66
97	68,16	113,39	91,32
98	75,99	120,44	86,87
99	100,3	135,37	86,14
100	134,35	153,26	92,73
101	21,92	6,46	118,42
102	24,21	8,07	120,23
103	36,67	14,21	123,79
104	57,66	24,51	129,91
105	75,88	32,7	140,87
106	27,12	14,01	126,07
107	24,47	9,08	125,46
108	35,4	13,66	130,48
109	58,88	25,69	137,23
110	83,35	38,07	149,57
111	42,04	40,49	142,54
112	37,17	30,47	140,93
113	41,8	26,67	143,5
114	65,31	37,35	147,36
115	92	49,89	157,45
116	63,53	81,22	158,77
117	62,48	77,04	158,95
118	68,12	75,42	161,35
119	88,65	81,09	165,73
120	120,56	97,21	172,07
121	80,79	118,91	162,29
122	83,22	121,49	163,89
123	92,67	128,66	170,53

124	117,04	142,42	172,86
125	155,34	163,08	185,18
126	155,55	163,83	184,25
127	155,91	163,6	185,74
128	155,29	163,09	185,78
129	155,13	163,1	184,62
130	155,21	163,05	185,66

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3 spektrometrom.

Tablica 9 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3

	X	Y	Z
1	0,39	0,4	0,75
2	4,3	2,46	0,8
3	23,63	12,68	1,02
4	66,6	35,38	1,54
5	122,55	64,97	2,32
6	5,01	9,23	1,8
7	9,15	11,74	1,86
8	28,56	22,16	2,13
9	71,66	45,1	2,67
10	128,02	75,55	3,55
11	28,02	53,2	6,93
12	32,7	56,74	7,17
13	52,4	67,72	7,48
14	95,76	91,21	8,07
15	153,1	123,65	9,21
16	79,86	152,67	18,58
17	84,66	156,49	18,85
18	104,38	167,5	19,19
19	147,86	191,18	19,79
20	205,64	224,57	21,05
21	148,33	286,04	34,91
22	152,22	288,03	34,97
23	171,48	298,14	35,19
24	214,6	320,82	35,73
25	269,93	350,03	36,55
26	3,07	1,89	15,43
27	7,17	4,07	15,44
28	26,88	14,48	15,71
29	70,01	37,28	16,21
30	125,09	66,4	17,09
31	7,84	10,81	17,17
32	12,15	13,39	17,23
33	31,9	24	17,48
34	75,22	47,04	18,04
35	130,72	77,07	19,02
36	30,78	54,56	22,61
37	35,58	58,13	22,81
38	55,77	69,46	23,19
39	99,26	92,96	23,76

40	155,76	124,99	25
41	82,73	154,2	34,71
42	87,79	158,21	34,98
43	107,87	169,41	35,34
44	151,6	193,27	35,96
45	208,44	226,09	37,3
46	151,41	287,6	52,55
47	155,48	289,67	52,61
48	175,18	300,04	52,9
49	218,45	322,79	53,41
50	273	351,59	54,38
51	16,5	9,36	88,8
52	20,69	11,58	88,74
53	40,64	22,13	89,21
54	83,78	44,93	89,52
55	138,47	73,85	90,54
56	21,56	18,43	92,13
57	25,92	21,03	92
58	46,01	31,83	92,62
59	89,27	54,87	92,88
60	144,42	84,7	94,11
61	44,67	62,32	98,4
62	49,64	66,05	98,53
63	69,84	77,21	98,83
64	113,39	100,77	99,27
65	169,65	132,77	100,91
66	96,8	162,09	111,25
67	101,88	166,07	111,39
68	122,18	177,39	111,84
69	165,89	201,19	112,35
70	222,48	233,96	114,05
71	165,96	295,58	132,4
72	170,16	297,74	132,48
73	190,08	308,21	132,9
74	233,39	331	133,41
75	287,54	359,57	134,63
76	47,03	26,06	256,62
77	51,34	28,35	256,53
78	71,48	38,99	256,88
79	114,82	61,89	257,36
80	169,11	90,6	259,13
81	52,22	35,21	260,54
82	56,74	37,92	260,6

83	76,97	48,77	260,97
84	120,46	71,93	261,57
85	175,18	101,52	263,39
86	75,29	79,02	266,95
87	80,41	82,8	267,26
88	100,88	94,15	267,61
89	144,59	117,82	268,22
90	200,37	149,49	270,28
91	127,58	179	280,41
92	132,87	183,12	280,73
93	153,32	194,47	281,09
94	197,21	218,38	281,84
95	253,37	250,93	284,12
96	197,22	312,67	303,66
97	201,51	314,89	303,58
98	221,71	325,51	303,99
99	265,12	348,37	304,55
100	318,85	376,72	306,4
101	93,27	49,84	510,57
102	97,94	52,29	510,41
103	118,95	63,42	510,53
104	162,64	86,5	510,88
105	214,91	114,11	511,19
106	97,98	58,78	511,73
107	102,88	61,69	511,66
108	124,02	73,03	511,83
109	167,81	96,33	512,19
110	220,48	124,82	512,55
111	120,91	102,62	516,9
112	126,39	106,62	516,96
113	147,85	118,56	517,2
114	191,93	142,4	517,65
115	245,61	172,96	518,25
116	173,02	202,78	528,59
117	178,61	207,01	528,63
118	200,06	218,94	528,86
119	244,27	243,03	529,33
120	298,31	274,4	530,05
121	241,06	334,98	545,17
122	245,76	337,39	545,06
123	266,79	348,44	545,15
124	310,59	371,52	545,56
125	362,24	398,76	545,78

126	362,2	398,71	545,84
127	362,16	398,68	545,81
128	362,15	398,66	545,82
129	362,15	398,66	545,85
130	362,12	398,62	545,85

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3 spektrometrom pod kutom od 30 stupnjeva.

Tablica 10 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung Galaxy S3 pod kutom od 30 stupnjeva

	X	Y	Z
1	0,51	0,55	0,56
2	2,54	1,6	0,58
3	10,34	5,69	0,63
4	26,39	14,1	0,76
5	48,13	25,57	0,95
6	2,84	4,9	1,03
7	5,01	6,19	1
8	12,83	10,34	1,04
9	28,91	18,84	1,2
10	50,75	30,63	1,46
11	11,58	21,73	2,71
12	13,93	23,37	2,8
13	21,85	27,72	2,88
14	38,01	36,4	3,01
15	60,26	48,99	3,35
16	30,02	57,39	6,5
17	32,4	59,15	6,57
18	40,37	63,54	6,63
19	56,53	72,29	6,81
20	79,01	85,34	7,19
21	56,18	108,84	12,5
22	58,3	110	12,55
23	66,05	114,05	12,57
24	82,04	122,45	12,69
25	103,9	134,38	12,96
26	1,62	1,25	6,12
27	3,76	2,36	6,09
28	11,71	6,52	6,15
29	27,79	14,95	6,29
30	49,11	26,15	6,5
31	3,92	5,59	6,79
32	6,18	6,9	6,81
33	14,12	11,11	6,87
34	30,25	19,65	6,96
35	51,82	31,28	7,23
36	12,63	22,33	8,63
37	15,06	24	8,69

38	23,17	28,47	8,77
39	39,34	37,14	8,92
40	61,31	49,6	9,24
41	31,13	58,06	12,52
42	33,62	59,88	12,61
43	41,67	64,28	12,71
44	57,97	73,14	12,85
45	80,03	85,92	13,23
46	57,23	109,39	19,12
47	59,46	110,63	19,14
48	67,47	114,83	19,21
49	83,54	123,29	19,31
50	105,07	135,02	19,58
51	5,97	3,73	30
52	8,17	4,88	29,95
53	16,19	9,07	30,09
54	32,24	17,49	30,11
55	53,5	28,66	30,31
56	8,37	8,11	31,18
57	10,65	9,45	31,15
58	18,7	13,73	31,24
59	34,85	22,27	31,31
60	56,23	33,81	31,48
61	17,12	24,9	33,25
62	19,62	26,62	33,33
63	27,76	31,08	33,38
64	43,96	39,79	33,48
65	65,83	52,21	33,84
66	35,59	60,58	37,41
67	38,17	62,45	37,49
68	46,34	66,95	37,61
69	62,53	75,69	37,67
70	84,65	88,58	38,08
71	62,05	112,11	45,19
72	64,29	113,33	45,19
73	72,29	117,54	45,29
74	88,38	126	45,37
75	109,8	137,67	45,66
76	15,67	9,1	83,34
77	17,89	10,26	83,33
78	26	14,5	83,32
79	42,1	22,94	83,32
80	63,19	34,04	83,53

81	18,02	13,43	84,77
82	20,35	14,8	84,75
83	28,49	19,13	84,8
84	44,64	27,66	84,82
85	65,94	39,16	85,04
86	26,76	30,19	86,94
87	29,3	31,93	86,97
88	37,54	36,45	87,03
89	53,78	45,18	87,06
90	75,52	57,52	87,37
91	45,3	65,94	91,25
92	47,89	67,79	91,3
93	56,18	72,36	91,42
94	72,46	81,17	91,47
95	94,37	93,93	91,82
96	71,87	117,49	99,77
97	74,16	118,74	99,78
98	82,24	122,97	99,75
99	98,37	131,48	99,84
100	119,47	142,86	99,92
101	32,59	17,52	177,34
102	35,01	18,78	177,21
103	43,45	23,21	177,14
104	59,71	31,73	177,11
105	80,28	42,55	177,27
106	34,87	21,84	177,86
107	37,42	23,31	177,92
108	45,91	27,84	177,76
109	62,23	36,47	177,79
110	82,97	47,66	177,96
111	43,57	38,57	179,7
112	46,29	40,39	179,65
113	54,89	45,11	179,65
114	71,29	53,93	179,67
115	92,45	65,95	179,91
116	62	74,23	183,5
117	64,82	76,2	183,57
118	73,31	80,81	183,32
119	89,66	89,63	183,17
120	110,94	102,03	183,41
121	88,14	125,43	190,35
122	90,48	126,58	190,01
123	98,89	130,96	189,88

124	115,39	139,79	190,23
125	136,1	151,1	190,44
126	135,63	150,58	189,81
127	135,64	150,59	189,87
128	135,92	150,92	190,28
129	135,66	150,62	189,94
130	136,1	151,11	190,49

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus spektrometrom.

Tablica 11 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus

	X	Y	Z
1	0,03	0,04	0,03
2	2,65	1,33	0
3	10,75	5,26	0,02
4	24,27	11,81	0,01
5	43,83	21,3	0,05
6	0,79	2,44	0,2
7	3,21	3,51	0,2
8	10,78	7,11	0,19
9	24,08	13,55	0,2
10	43,04	22,7	0,2
11	3,65	12,05	0,93
12	5,96	13,02	0,93
13	13,45	16,6	0,92
14	26,31	22,71	0,91
15	44,68	31,38	0,89
16	8,47	28,32	2,19
17	10,64	29,16	2,18
18	17,65	32,19	2,13
19	30,29	38,29	2,1
20	47,07	45,32	2,05
21	16,05	54,27	4,21
22	17,87	54,26	4,12
23	23,67	54,45	3,89
24	34,21	58,25	3,74
25	49,24	64,27	3,66
26	1,38	0,59	7,82
27	2,35	1,14	4,92
28	8,4	4,06	4,89
29	19,7	9,54	4,81
30	37,15	18,01	4,76
31	2,04	2,93	7,55
32	3,03	3,42	5,01
33	8,88	6,24	4,96
34	19,87	11,49	4,86
35	37,13	19,85	4,82
36	4,79	12,36	7,84
37	5,85	12,97	5,64
38	11,65	15,75	5,64
39	22,71	21,02	5,59

40	39,4	28,85	5,43
41	9,51	28,44	8,79
42	10,53	29,01	6,74
43	16,23	31,75	6,73
44	26,53	36,09	6,65
45	41,69	42,43	6,28
46	17,06	54,48	10,51
47	17,57	53,28	8,49
48	22,12	53,91	8,14
49	31,31	56,77	7,92
50	45,22	62,54	7,61
51	5,49	2,13	32,02
52	5,72	2,4	24,84
53	11,67	5,29	24,67
54	22,84	10,71	24,39
55	40,09	19,08	24,14
56	5,94	4,35	30,63
57	6,28	4,6	24,39
58	11,98	7,32	24,12
59	23,3	12,82	24,31
60	40,37	21,06	24,06
61	8,63	13,75	30,46
62	9,1	14,09	24,91
63	14,82	16,81	24,83
64	25,9	22,11	24,8
65	42,85	30,2	24,53
66	13,23	29,76	30,87
67	13,74	30,13	25,79
68	19,4	32,8	25,76
69	29,71	37,27	24,91
70	44,75	43,52	23,94
71	20,33	54,57	31,74
72	20,41	53,69	26,39
73	25,04	54,85	25,61
74	34,19	57,61	24,61
75	47,01	61,91	23,62
76	11,62	4,4	68,02
77	11,19	4,43	57,24
78	17,02	7,26	57
79	28,17	12,67	56,77
80	45,35	21,01	56,43
81	11,91	6,51	65,84
82	11,7	6,57	56,46

83	17,38	9,3	56,29
84	28,22	14,51	55,93
85	45,38	22,82	55,92
86	14,41	15,68	64,94
87	14,31	15,77	56,49
88	20	18,51	56,52
89	30,99	23,81	56,56
90	47,49	31,58	55,83
91	18,84	31,39	64,68
92	18,94	31,7	57,29
93	24,52	34,34	57,24
94	33,97	37,98	55,12
95	48,95	44,71	54,03
96	25,44	55,54	63,5
97	25,1	54,39	56,15
98	29,4	55,14	54,25
99	37,92	57,52	52,84
100	50,81	62,61	51,16
101	21,67	8,1	127,31
102	20,6	7,88	113,12
103	26,35	10,66	113,23
104	37,24	15,96	112,85
105	54,29	24,24	112,64
106	21,77	10,04	124,01
107	21,08	9,91	112,2
108	26,57	12,55	111,85
109	37,39	17,8	111,79
110	53,98	25,81	111,19
111	24,17	18,99	122,82
112	23,66	18,97	112,18
113	29,1	21,53	111,87
114	39,84	26,69	111,89
115	56,39	34,61	111,38
116	28,35	34,31	121,83
117	28,04	34,44	112,27
118	33,12	36,48	110,79
119	42,37	40,55	107,36
120	55,91	46,22	103,71
121	34,12	57,19	117,5
122	33,17	55,99	106,25
123	37,21	56,92	103,05
124	45,61	59,95	99,81
125	57,96	64,64	96,67

126	57,87	64,6	96,74
127	57,4	64,08	96,09
128	57,73	64,46	96,58
129	57,86	64,6	96,77
130	63,26	70,24	102,75

X Y Z vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus spektrometrom pod kutom od 30 stupnjeva.

Tablica 12 XYZ vrijednosti izmjerene za uređaj Samsung trend plus pod kutom od 30 stupnjeva

	X	Y	Z
1	0,01	0,02	0
2	1,72	0,95	0,02
3	6,78	3,63	0,02
4	15,36	8,2	0,02
5	27,62	14,71	0,03
6	0,41	1,64	0,23
7	2,04	2,46	0,24
8	6,95	5,04	0,25
9	15,17	9,36	0,26
10	27,23	15,74	0,23
11	1,95	8,23	1,22
12	3,5	8,94	1,22
13	8,34	11,44	1,24
14	16,4	15,56	1,19
15	28,39	21,93	1,21
16	4,39	19,16	2,9
17	5,89	19,78	2,84
18	10,52	22,09	2,82
19	18,58	26,24	2,84
20	29,28	31,16	2,7
21	8,23	36,55	5,56
22	9,5	36,47	5,42
23	13,48	37,17	5,21
24	20,54	40,23	5,08
25	30,22	44,3	4,91
26	1,11	0,39	5,87
27	1,67	0,8	3,66
28	5,47	2,81	3,64
29	12,61	6,62	3,57
30	23,45	12,38	3,52
31	1,43	1,95	5,74
32	1,99	2,33	3,79
33	5,69	4,28	3,76
34	12,66	7,97	3,7
35	23,34	13,6	3,63
36	2,86	8,31	6,47
37	3,48	8,81	4,69

38	7,09	10,66	4,63
39	14	14,26	4,59
40	24,6	19,8	4,52
41	5,29	19,2	7,98
42	5,84	19,57	6,22
43	9,42	21,38	6,21
44	16,19	24,85	6,13
45	25,89	29,28	6,01
46	9,06	36,47	10,4
47	9,32	35,55	8,56
48	12,44	36,22	8,25
49	18,48	38,73	8,1
50	27,28	42,4	7,94
51	4,22	1,25	23,33
52	4,23	1,51	18,2
53	7,91	3,47	17,96
54	15,04	7,26	17,94
55	25,94	13,06	17,81
56	4,46	2,76	22,75
57	4,51	3,01	17,99
58	8,15	4,92	17,9
59	15,21	8,68	17,9
60	25,81	14,28	17,66
61	5,85	9,11	23,28
62	5,93	9,38	18,71
63	9,55	11,27	18,64
64	16,51	14,93	18,68
65	27,1	20,46	18,44
66	8,13	19,76	24,26
67	8,23	19,99	19,96
68	11,86	21,99	20,1
69	18,19	24,89	19,33
70	27,66	29,26	18,61
71	11,66	36,3	26,13
72	11,61	36,08	21,63
73	14,63	36,65	20,97
74	20,26	38,69	20,16
75	29,06	42,74	19,61
76	8,87	2,48	49,55
77	8,38	2,6	41,78
78	12,09	4,58	41,7
79	19,1	8,32	41,47
80	29,72	13,99	40,99

81	9,02	3,96	48,46
82	8,61	4,08	41,27
83	12,22	5,98	41,15
84	19,09	9,61	40,98
85	29,79	15,29	40,87
86	10,35	10,23	48,63
87	9,96	10,33	41,74
88	13,51	12,18	41,6
89	20,44	15,84	41,67
90	30,89	21,3	41,36
91	12,46	20,62	49,02
92	12,27	20,95	42,91
93	15,81	22,79	42,94
94	22,17	25,83	42,16
95	31,45	30,15	40,51
96	15,9	37	50,46
97	15,32	36,46	43,24
98	18,18	37,21	42,46
99	23,87	39,27	40,98
100	32,34	42,79	40,07
101	16,57	4,56	92,67
102	15,63	4,56	82,6
103	19,19	6,46	82,37
104	26,04	10,1	82,14
105	36,65	15,76	81,83
106	16,56	5,9	90,91
107	15,67	5,88	81,23
108	19,21	7,75	81,34
109	26,02	11,35	81,41
110	36,44	16,88	81
111	17,79	11,98	90,7
112	17,01	11,98	81,73
113	20,5	13,82	81,75
114	27,11	17,26	81,41
115	37,64	22,82	81,45
116	19,85	22,27	90,82
117	19,25	22,41	82,7
118	22,48	24,16	81,58
119	27,95	26,42	78,62
120	36,93	30,99	76,26
121	22,55	37,7	89,03
122	21,78	37,38	80,55
123	24,24	37,8	78,16

124	29,45	39,66	75,72
125	37,54	43,35	73,38
126	37,44	43,26	73,28
127	37,42	43,24	73,3
128	37,44	43,27	73,35
129	37,49	43,34	73,45