

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Tea Pavić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD
UTJECAJ TEMPERATURE BOJE SVJETLOSTI NA
DOŽIVLJAJ BOJE

Mentor:

Doc.dr.sc. Rahela Kulčar

Student:

Tea Pavić

Zagreb, 2021.

SAŽETAK

Tema obrađuje svjetlost, razliku između izvora svjetlosti i standardnih vrsta rasvjete. Uspoređene su razlike u temperaturama boje svjetlosti, kako ona utječu na poimanje boja, gdje se koristi koja temperatura svjetlosti te pojava metamerije. U eksperimentalnom dijelu rada izabran je objekt u boji koji se zatim snimio sa digitalnim aparatom. Isti motiv snimio se pod različitom temperaturom svjetlosti kako bi se pratio utjecaj temperature boje na doživljaj boje. Usporediti će se razlike u vrijednostima boje vizualnom i instrumentalnom metodom. Razlike će biti prikazane u CIELAB sustavu boja.

KLJUČNE RIJEČI:

- svjetlost, boja, rasvjeta, temperatura boje svjetlosti, CIELAB

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Svjetlost	3
2.1.1 Izvori svjetlosti	3
2.2 Boja	4
2.2.1 Spajanje boja	4
2.2.2 Metamerija	5
2.3. Temperatura boje svjetlosti	6
2.4. Standardne vrste rasvjete	8
2.5. Sustavi boja	9
3. PRAKTIČNI DIO	11
3.1 Princip rada fotoaparata	11
3.1.1 Balans bijelog	12
3.2. Uzimanje vrijednosti boja	13
4. REZULTATI I RASPRAVA	15
4.1. Dobivene vrijednosti boja i razlika u boji CIEDE2000	16
4.2. Grafički prikazi vrijednosti boja	18
5. ZAKLJUČCI	27
6. LITERATURA	28

1. UVOD

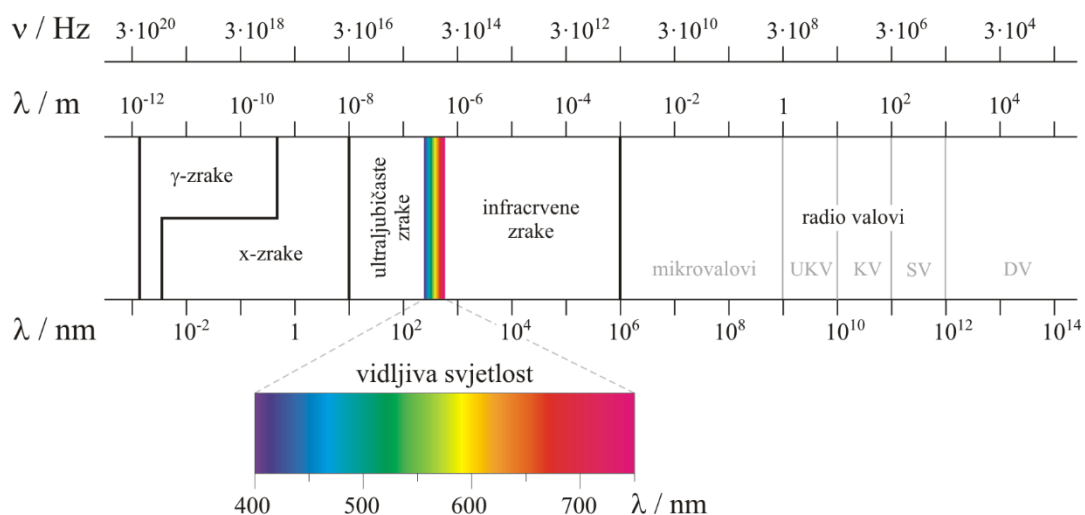
Svjetlost je oblik postojanja energije. Ono se širi najvećom poznatom brzinom u svemiru. Život na Zemlji bez svjetla ne bi mogao ni postojati. Naš najvažniji svjetlosni izvor je Sunce, ali svjetlost možemo proizvesti i s pomoću elektriciteta. Nekoć davno, ljudi su svjetlo dobivali samo od Sunca, Mjeseca i zvijezda. Kasnije su se počeli služiti plamenom svijeća i uljanica. Danas elektricitet jarko osvjetljava naše domove i ulice.

Mi svijet vidimo u mnogo boja zato što naše oči opažaju obojeno svjetlo odraženo od predmeta oko nas ili njima proizvedeno. Crvenu ružu vidimo crvenom zato što ona u naše oči reflektira crveno svjetlo. Na doživljaj boje utječe i temperatura boje svjetlosti. Tako će primjerice niža temperatura davati crvenkaste tonove, a viša temperatura plavkaste.

Cilj ovog završnog rada je prikazati kakve boje emitiraju različiti izvori svjetlosti ili standardne vrste rasvjete te kako se mijenjaju boje promjenom temperature.

2. TEORIJSKI DIO

Elektromagnetsko zračenje (valovi energije koji prolaze kroz prostor i materiju) dopire sa Sunca, zvijezda i galaksija, odakle kroz svemir putuje sve do nas. Ono se može proizvesti i na umjetan način. Tvore ga elektromagnetski valovi vrlo različitih frekvencija i valnih duljina. Neka su od njih, poredana po rastu frekvencije (odnosno smanjenju valne duljine): radiovalovi, mikrovalovi, infracrvene zrake, vidljivo svjetlo, ultraljubičasto zračenje, rentgenske zrake i gama-zračenje. Svi se elektromagnetski valovi šire brzinom svjetla, i ti valovi ili zrake mogu prodirati i kroz materijale. Sve frekvencije elektromagnetskoga zračenja zovemo elektromagnetskim spektrom.



Slika 1. Elektromagnetsko zračenje

<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja>

2.1. Svjetlost

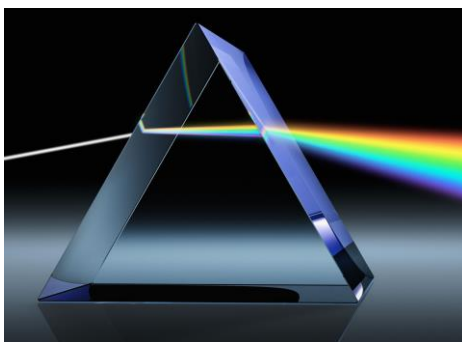
Svjetlost koju vidimo djelić je raznovrsnog elektromagnetskoga zračenja. U njoj su zrake različite valne duljine koje naše oko vidi kao boje čitavoga spektra. Iako se svjetlost obično ponaša kao val, ono se može zamisliti kao snop sićušnih paketa energije, ili fotona, koji se ponašaju i kao valovi i kao čestice. Svjetlosne se zrake iz svjetlosnoga izvora uvijek šire po pravcu. Smjer se svjetlosnih zraka može promijeniti sjajnim ili prozirnim tvarima, poput stakla ili vode, koji to svjetlo lome ili odbijaju.

2.1.1 Izvori svjetlosti

Početak čovjekovog razvoja bio je vezan za prirodnu svjetlost sve do otkrića vatre, sve su ljudske aktivnosti prije otkrića vatre bile vezane za svjetlost od Sunca, Mjeseca ili zvijezda. Prvi umjetni izvori svjetlosti koji je čovjek napravio i koristio bili su vatra, baklje i svijeće. Početkom 20. stoljeća došlo je do naglog razvoja izvora umjetne svjetlosti. Nakon žarulje sa žarnom niti, poznata i kao Edisonova žarulja, pojavljuje se i žarulja sa volframovom niti. Prve živine žarulje pojavljuju se 1930-tih godina, fluorescentni izvori dostupni su već od 1939. godine. Visokotlačne natrijeve žarulje dolaze na tržište 60-ih godina 20. stoljeća, 1990-tih dolazi i prva LED rasvjeta na tržište.[1]

2.2 Boja

Boja je vizualni doživljaj koji ovisi o frekvenciji zračenja svjetlosti. Osjet boje nastaje radi dvije vrste receptora tj. fotoosjetljivih stanica koji se nalaze u mrežnici a živcima su povezani sa mozgom: štapića i čunjića. Štapići su zaslužni za osjet svjetline, a tri različite vrste čunjića za osjet boje. Ljudsko oko percipira samo vidljivu svjetlost, tj. elektromagnetske valove koji imaju valnu duljinu od približno 380 do 750 nm. Zračenja svake pojedine valne duljine daju dojam određene boje. Naše oči opažaju mnogo boja - od crvene, narančaste, pa sve do zelene, plave i ljubičaste. Mi vidimo različite boje svjetla zato što svjetlo svake valne duljine ima drukčiju boju. Crveno svjetlo ima najdužu valnu duljinu, a ljubičasto najkraću. Primjer gdje se može uočiti spektar boja jest prilikom prolaska snopa bijele svjetlosti kroz optičku prizmu, trokutastog komada prozirnoga materijala, ili difrakcijsku mrežicu. Oni različite valne duljine bijeloga svjetla cijepaju u spektar: od crvene preko narančaste, žute, zelene i plave, pa sve do ljubičaste. Prizma stvara spektar tako što različite valne duljine lomi pod različitim kutom. Tako se, primjerice, ljubičaste zrake lome oštrije od crvenih. Taj lom zovemo lomom svjetla ili refrakcijom. Razdjeljivanje svjetla u njegove sastavne boje zovemo disperzijom.



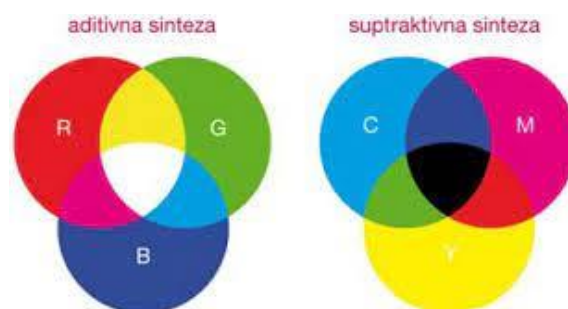
Slika 2. Prolazak bijele svjetlosti kroz prizmu

<https://www.britannica.com/technology/prism-optics>

2.2.1 Spajanje boja

Obojene pruge, tj. boje, nastale pri prolasku svjetla kroz prizmu možemo podijeliti na primarne i sekundarne boje. Primarne (osnovne) boje su čiste boje koje se ne mogu dobiti miješanjem drugih boja. Zrake svjetla tri primarne boje (crvene, zelene i plave) mogu se miješati tako da se dobiju sve druge boje. To zovemo aditivnim postupkom, to jest postupkom zbrajanja boja. Crvena i zelena daju tako, primjerice, žutu, dok se sve tri

miješaju u bijelu. Nijanse ružičastog i smeđeg sadrže različite doze tri primarne boje. Sekundarne boje su boje dobivene miješanjem dviju primarnih boja. Tri primarne boje u suptraktivnom postupku, ili postupku oduzimanja, jesu žuta, cijan i magenta, Tako se, primjerice, žuta i magenta miješaju u crvenu, žuta boja oduzima svjetlu plavu valnu duljinu, a odražava crvenu i zelenu koje se onda miješaju u žutu. Umiješamo li u to magentu, upit će se i zelena, pa će ostati samo crvena.

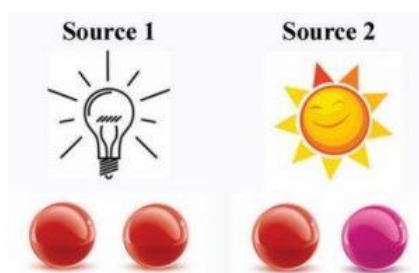


Slika 3. Prikaz aditivne i suptraktivne sinteze

https://eprints.grf.unizg.hr/1328/1/DB100_So%c4%8de_%c5%bdana.pdf

2.2.2 Metamerija

Metamerija je pojava kada dvije boje različitih spektralnih krivulja izgledaju jednako gledane pod jednim izvorom svjetla, a drugačije pod drugim izvorom svjetla. To su metamerne boje. Metamerija, između ostalog, može biti izazvana promjenom izvora svjetla ili promjenom promatrača (*eng. illuminant metamerism i observer metamerism*).



Slika 4. Metamerija

<https://www.coltechcon.com/publication/at-least-12-color-metamerism-types/>

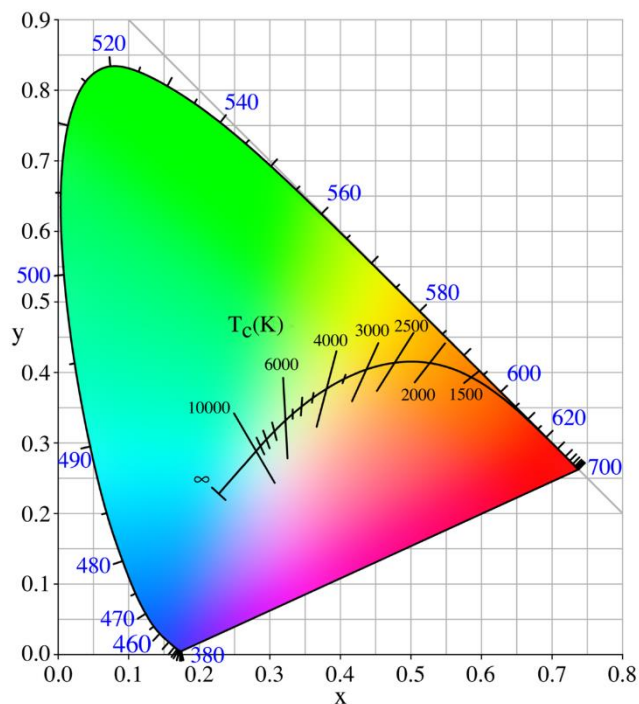
Naime, spektralna osjetljivost ljudskog oka može varirati od čovjeka do čovjeka. Također, vid se mijenja s godinama. Većina sustava za reprodukciju boja uključujući

televiziju, fotografiju u boji i tisak, oslanja se na samo tri do četiri primarne boje za prikaz svih boja koje vidimo oko nas. To je moguće upravo radi metamerije. Osnovni uzrok metamerije je činjenica da je boja vizualni doživljaj, a ne vlasništvo objekta. Ljudski vidni sustav može doživjeti isti osjet boje od mnogo kombinacija različitih valnih duljina. [2]

2.3. Temperatura boje svjetlosti

Okolinu doživljavamo ne samo kao svjetlost i tamu, svjetlo i sjenu, već i bojama. Svjetlost koja se isijava ima određenu boju. Poznata je kao boja svjetlosti i određena je temperaturom boje u Kelvinima (K). [3]

Temperaturu boje bilo kojeg izvora svjetla možemo ustanoviti izmjerivši temperaturu crnog tijela, ugrijanog do one temperature pri kojoj će ono zračiti bojom koja se poklapa s bojom izvora svjetla koji želimo izmjeriti. Standardno crno tijelo u praksi je posuda od vatrostalne keramike, sa svih strana zatvorena, poput neke boce koja ima samo na jednom mjestu vrlo malen otvor. Svo svjetlo koje bi sa strane moglo pasti u unutrašnjost posude potpuno se apsorbira, pa u posudi vlada mrak. Tako taj otvor postaje standard za potpuno crno. Ako se takvo crno tijelo zagrijava izvana, ono će, grijući se do sve više temperature, žareći se, početi emitirati u svoju unutrašnjost neko svjetlo koje se može promatrati kroz onaj maleni otvor na vrhu. Boja tog svjetla, odnosno njegov spektralni sastav, ovisna je i mijenja se s temperaturom do koje je crno tijelo ugrijano. Promatranjem boje unutar crnog tijela i mjerenjem temperature njegove ugrijanosti, te usporedbom boje pri određenoj temperaturi s bojom prirodnog svjetla, došlo se do pojma temperature boje izražene u Kelvinima. Svaki svjetlosni izvor može u širokim granicama mijenjati svoju temperaturu boje. Kad govorimo o niskoj temperaturi, npr. obične svijeće, to znači da je takvo svjetlo siromašno plavom bojom, a bogato crvenom. Kad je riječ o visokoj temperaturi boje, tada se radi o svjetlu bogatijem plavom bojom nego crvenom. Zbog adaptacije na boju naše oko te razlike gotovo i ne zamjećuje. I dnevno i umjetno svjetlo za nas je jednako „bijelo“ u dosta širokim granicama. Razliku ćemo primijetiti kada na neku površinu istodobno padnu svjetla iz dvaju različitih izvora.



Slika 5. Prikaz utjecaja temperature svjetlosti na emitiranu boju

https://www.researchgate.net/figure/The-CIE-1931-XYZ-Color-Space-relates-black-body-radiation-color-and-temperature-Image_fig4_228850795

Kod projektiranja ili odabira rasvjete poznavanje temperature svjetla od velike je važnosti.

Boje svjetlosti žarulja dijele se u tri grupe:

- Topla bijela (2700K – 3300K) – bijela boja sa žućkastom primjesom koja je vrlo slična svjetlosti koju emitira obična žarulja sa žarnom niti. To je dobra boja za oči te se stoga posebno preporučuje za unutarnju upotrebu u stambenim prostorima za boravak, kao što su kuhinja, dnevna soba i spavaonica.
- Neutralna bijela/boja snijega (4000K – 4500K) – od svih nijansi bijela neutralna boja daje najviše svjetla. Pogodna je za poslovne i prodajne prostore.
- Hladno bijela (4500K – 6500K) – bijela boja s plavom primjesom. Ta boja ne privlači kukce pa je stoga pogodna uglavnom samo za korištenje kod vanjske rasvjete. [3]



Slika 6. Rasvjeta različitih temperatura boje svjetlosti

<https://www.tcpi.com/what-is-lighting-color-temperature/>

2.4. Standardne vrste rasvjete

Razlika između izvora svjetla (eng. light source) i standardne vrste rasvjete (eng. Illuminant) određene su CIE definicijama. (Commission International de l’Eclairage (CIE) – Internacionalna komisija za rasvjetu) Izvor svjetla je fizički realizirano zračenje (svijeća, lampa, sunce) koje može biti izraženo i brojčano sa spektralnom energijom zračenja ovisno o valnoj duljini. CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i nazvala ih “Illuminants“ (standardna vrsta svjetlosti ili rasvjete). Ona predstavlja niz brojeva (ovisnost relativne energije zračenja o valnoj duljini) koja predstavlja određenu vrstu bijelog svjetla i koristi se u software-u uređaja tijekom mjerenja boja.[4]

D (eng. Daylight) vrste rasvjete

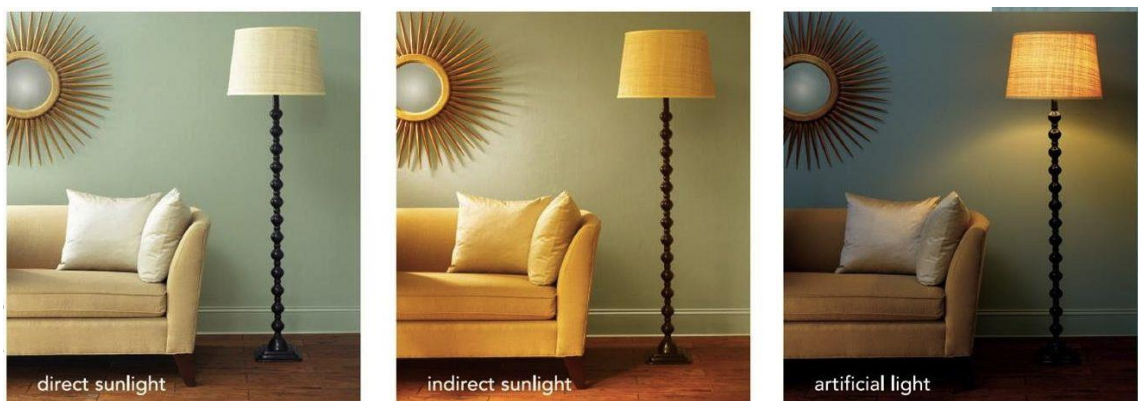
S obzirom na ravnotežu boja, dnevno je svjetlo nešto plavije. Energija zračenja je ujednačena kroz cijeli vidljiv dio spektra. Razlog tome je selektivna apsorpcija i raspršivanje visoke energije kraćih valnih duljina ljubičaste i plave svjetlosti u gornjim slojevima atmosfere, što rezultira vedrim plavim nebom. Svaki objekt težit će prema plavoj boji s obzirom na raspoloživu energiju svjetlosti. Neposredno prije izlaska sunca ili navečer prije zalaska sunca, energija svjetlosti je oko 5500 K. Prevladava crvena boja s obzirom da svjetlost prolazi dužim dijelom zemljine atmosfere, dok se plava apsorbira. Blizu podne, kad je sunce gotovo na najvišoj točki, temperatura svjetlosti je oko 6500 K, a nebo je potpuno plavo. Oko podne temperatura se penje na 7500 K, a ukoliko nema nikakvih zaklona, a nebo se plavi da ne može jače, temperature mogu dosegnuti i do 10 000K. Izlazak sunca znači niža temperatura boje, nebo je crveno.

Vrsta rasvjete A

Svjetlost žarulje ili volframove svjetlosti zrači najviše u crvenom dijelu spektra. To je razlog zašto se predmeti čine toplijima pod takvom svjetlošću, jer se u plavom dijelu spektra emitira vrlo malo. Pružajući toplu atmosferu, žarulje se najčešće koriste u domovima. S obzirom na razliku u zračenju u crvenim i plavim dijelovima spektra, percepcija boje može se iskriviti, što nije nužno loše. Treba se obraćati pažnja pri odabiru boja predmeta osvijetljenih takvom rasvjetom. Ova vrsta svjetlosti može se izraziti i u Kelvinima, a približna vrijednost žarulje bila bi oko 2856 K.

Fluorescentne vrste rasvjete F

Karakterizira ju diskontinuirana energetska spektralna distribucija. CIE predlaže spektralnu distribuciju hladnih, bijelih fluorescentnih izvora svjetlosti. Hladno i bijelo fluorescentno svjetlo najviše emitira u plavom i zelenom dijelu spektra.



Slika 7. Utjecaj rasvjete na boje

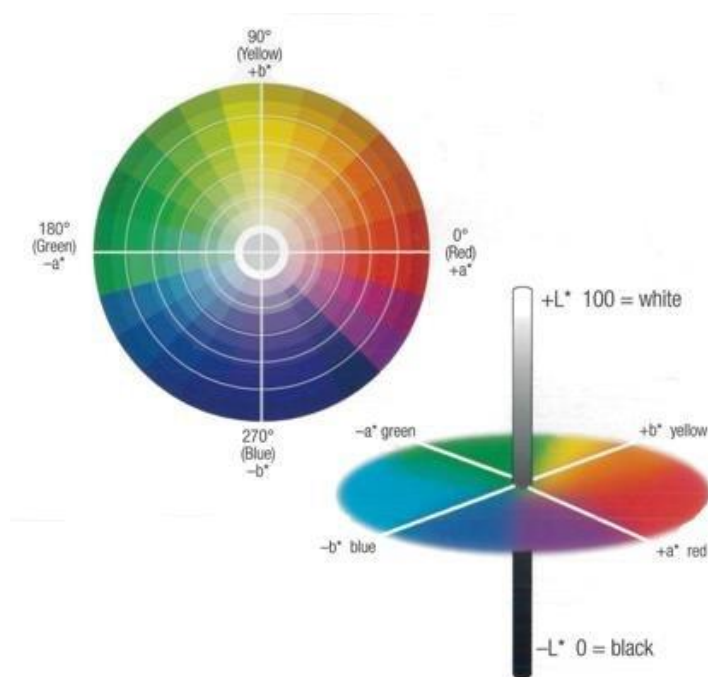
<https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/illuminant-metamerism-its-not-always-what-you-see-is-what-you-get/>

2.5. Sustavi boja

Boja ovisi o stimulaciji receptora za crvenu, zelenu i plavu komponentu, pa su zato potrebne tri vrijednosti kako bi se opisale sve moguće boje. Ako zamislimo da su primarne boje na osima trodimenzionalnog sustava, dobili smo sustav boja. Stručnjaci su razvili mnoge sustave boja, a svaki ima svoje prednosti i mane. Ključni sustavi su

međunarodno standardizirani, pa se primjenjuju u industrijskoj proizvodnji. Najraširenija je primjena XYZ i CIE $L^*a^*b^*$ sustava boja. U XYZ sustavu boja primjenjuju se X, Y i Z oznake za komponente boje, pri čemu X i Y oznaka označavaju koordinate boje, a Z svjetlinu. Položaj boje unutar prostora boja može se definirati precizno primjenjujući ove tri koordinate. No iz kromatskog dijagrama nije moguće odrediti koliko se boje razlikuju jer prostor boja nije percepcijski jednoličan. Iz tog razloga bilo je potrebno razviti prostore boja s ujednačenim percepcijskim razmacima. [5]

CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja zasnovan je na suprotnoj teoriji boja. Funkcija svjetline L^* daje skalu neutralne boje od crne do bijele (od 0 do 100 jedinica svjetline), a kromatičnost boje definira se u odnosu na neutralnu os koja ima vrijednost 0 kromatičnosti. CIE a^* je koordinata za crvenu-zelenu, a CIE b^* za žutu-plavu. CIE $L^*a^*b^*$ svoju primjenu nalazi u formuli boja, procesnoj kontroli i kontroli kvalitete. Svaka boja definira se svjetlinom i kromatičnošću s tri točke na svakoj osi. Kako bi se došlo do CIE $L^*a^*b^*$ prostora boja, potrebna je računaska operacija primjenjujući XYZ vrijednosti za objekt i bijelu točku izvora svjetlosti X_o, Y_o, Z_o [5,6]



Slika 8. CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja

https://www.researchgate.net/figure/CIELAB-Color-Space-adopted-from-wwwBonlalumcom-On-the-other-hand-the-study-used_fig1_332013468

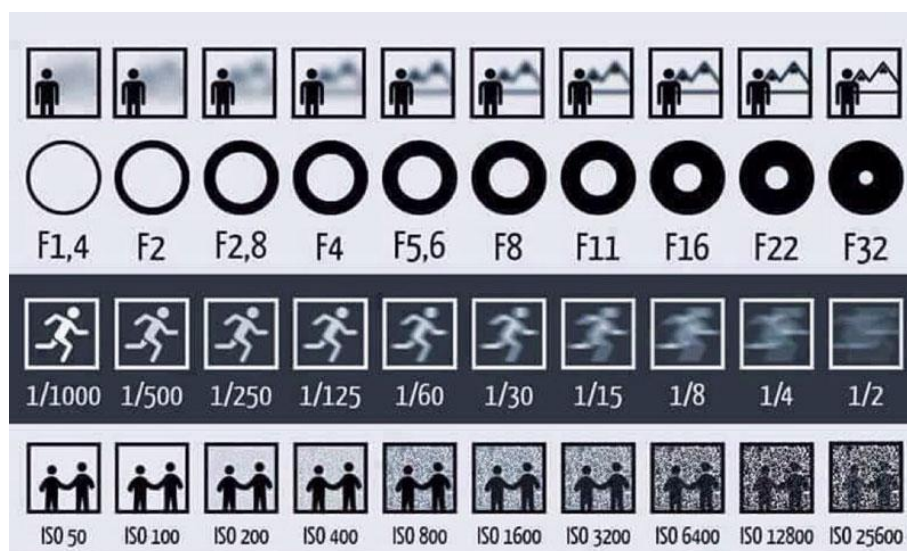
3. PRAKTIČNI DIO

Cilj praktičnog dijela ovog završnog rada je prikazati kako će se mijenjati boje prilikom promjene temperature boje svjetlosti. Fotografiran je motiv, odnosno osam knjiga sa različitim bojama korica te je za rasvjetu korištena pametna žarulja *Ledom* sa mogućnošću promjene temperature boje svjetlosti. Motiv je fotografiran pod temperaturom od 2700K, 4600K i 6500K.

3.1 Princip rada fotoaparata

SLR je kratica od Single Lens Reflex – što označava da kamera ima jednu leću (objektiv) i zrcalo. Ovakvi fotoaparati kod nas se nazivaju zrcalo-refleksnim fotoaparatom. DSLR je kratica od Digital Single Lens Reflex, dakle digitalni zrcalno-refleksni fotoaparat. Princip rada ovih fotoaparata je sljedeći. Zahvaljujući zrcalu koje se nalazi iza objektivu u tijelu fotoaparata i pentaprizmi koja se nalazi iznad zrcala kroz tražilo je vidljiv kadar koji će se kroz objektiv zabilježiti na film ili na svjetlosni senzor. Pri okidanju fotografije zrcalo se podiže i propušta svjetlo iz objektivu do filma ili senzora. Dakle, svjetlo prolazi kroz objektiv i lomi se na određeni način da bi se dobila oštra slika. [7]

Iza objektivu kamere nalazi se zaslon (blenda ili iris), pregrada s otvorom promjenljiva promjera. Taj promjer zovemo aperturom ili otvorom, a njezinim mijenjanjem mijenjamo i osvijetljenost slike. Ako je prizor sumračan, da bismo dobili dobru fotografiju moramo povećati aperturu. Ako je prizor suviše osvijetljen, otvor moramo suziti. Aperturu obično izražavamo kao numeričku aperturu, a nju dobivamo kad žarišnu daljinu objektivu podijelimo promjerom otvora. Brojevi na objektivu izražavaju njezinu vrijednost. Tako je otvor 22 manji od otvora 2. Pritisnemo li na kameri otponac, otvorit će se zatvarač postavljen iza objektivu i tako omogućiti objektivu da na filmu stvori sliku. Vrijeme za koje je zatvarač otvoren zovemo ekspozicijom. Zatvarač se otvara na samo djelić sekunde (1/30, 1/60) ili kod dužih ekspozicija u desetinama sekunde ili sekundama. ISO je postavka fotoaparata koja će posvijetliti ili potamniti fotografiju. Kako se povećava ISO broj, fotografije će postupno postajati svjetlije. Iz tog razloga ISO može pomoći u snimanju slika u tamnijim okruženjima. Međutim, podizanje ISO-a ima posljedice. Fotografija snimljena s previsokim ISO-om prikazat će šum, tako da bi se ISO trebao povećati samo kad se ne može dovoljno osvijetliti fotografija pomoću brzine zatvarača ili otvora blende.



Slika 9. Prikaz postavki fotoaparata

<https://twistedstifter.com/2015/04/how-aperture-shutter-speed-and-iso-affect-your-photos/>

U eksperimentu je korištena DSLR kamera Nikon d5200 sa istim postavkama fotografiranja kod svake promjene temperature.




- Brzina zatvarača: 1/10
- Otvor blende: f18
- ISO 640

3.1.1 Balans bijelog

Balans bijelog ili *white balance* jedna je od mnogih postavki fotoaparata. Ona uravnotežuje temperaturu boje na fotografiji dodajući suprotnu boju u pokušaju vraćanja temperature boje na neutralnu. Umjesto da se bijele boje prikazuju plavo ili narančasto, one bi trebale izgledati bijele nakon što se pravilno uravnoteži slika. Jednostavnije rečeno, balans bijele u digitalnoj fotografiji znači prilagodbu boja tako da slika izgleda prirodnije. Prolazi se kroz postupak prilagođavanja boja kako bi boje na fotografiji sličile na boje u stvarnosti.

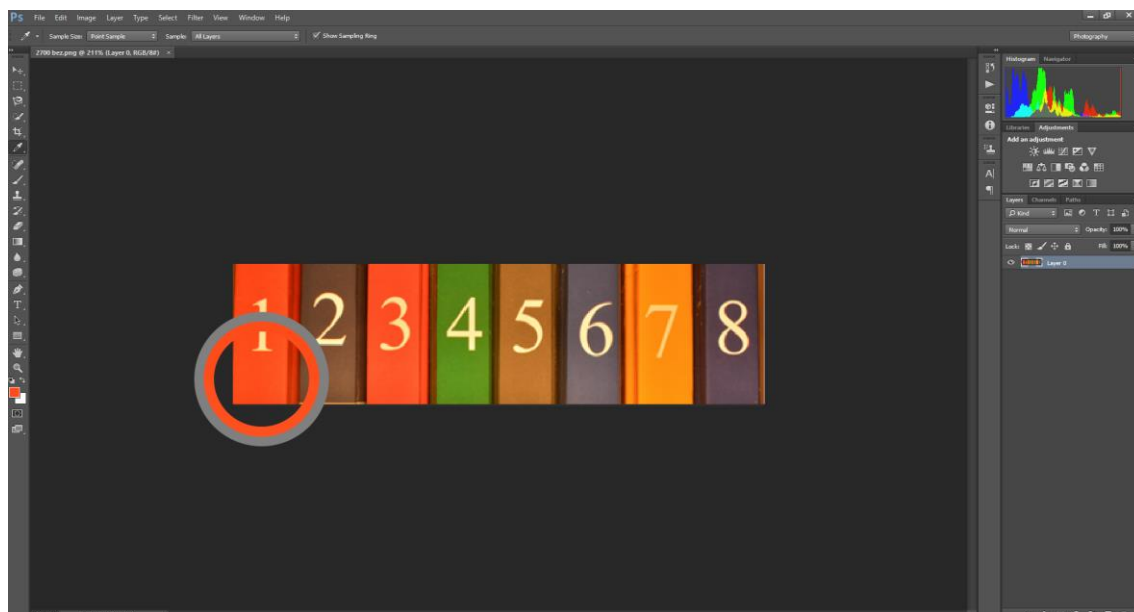
Iz tog razloga je motiv fotografiran sa i bez korištenja balansa bijelog.

3.2. Uzimanje vrijednosti boja

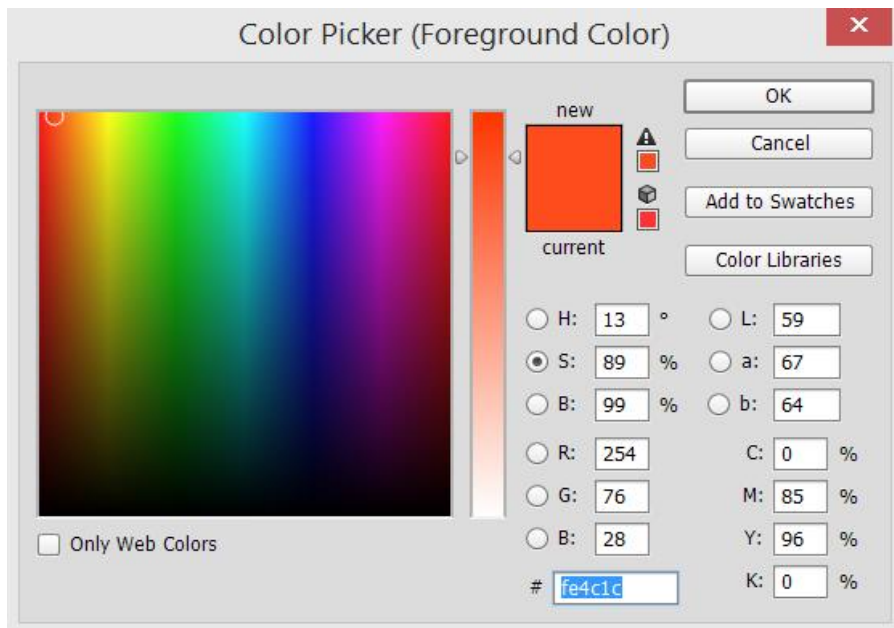
	Bez korištenja balansa bijelog	Korištenje balansa bijelog
2700K		
4600K		
6500K		

Slika 10. Prikaz motiva snimljenih pod različitim temperaturama svjetlosti

Nakon fotografiranja motiva, slike su otvorene u programu Adobe Photoshop gdje su pomoću *Color pickera* uzete HEX vrijednosti boja.

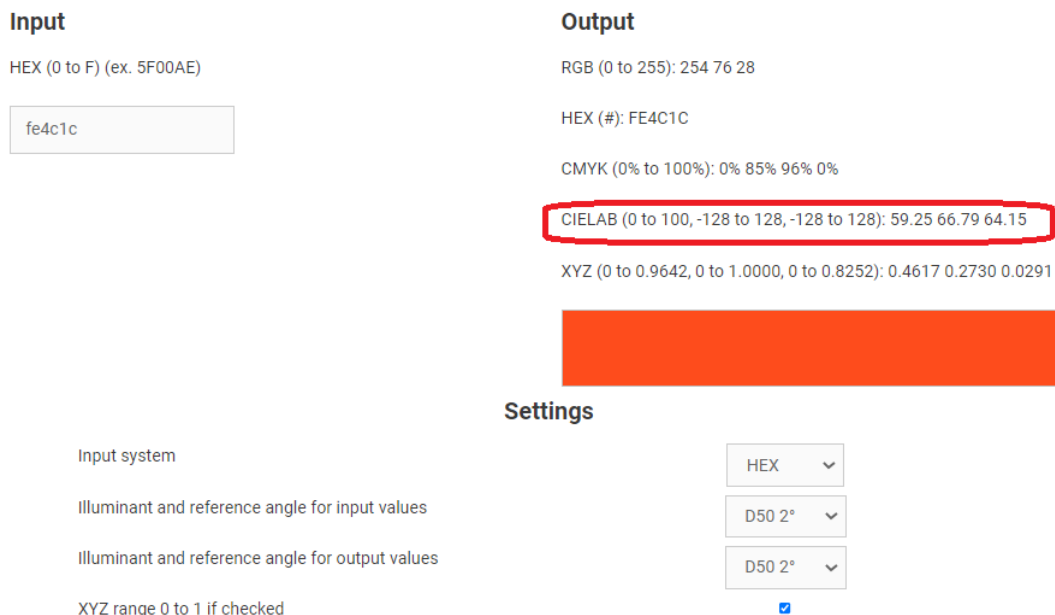


Slika 11. Uzimanje uzorka boje



Slika 12. HEX vrijednost boje

HEX vrijednost boje je zatim prebačena u $L^*a^*b^*$ vrijednost. Iako Adobe Photoshop nudi $L^*a^*b^*$ vrijednosti one nisu dovoljno precizne te su za potrebe ovoga rada nužne decimalne vrijednosti.



Slika 13. Pretvorba HEX vrijednosti u CIELAB

4. REZULTATI I RASPRAVA

Fotografirani motivi dokazali su da temperatura boje svjetlosti utječe na poimanje boja. Kod temperature od 2700K mogu se uočiti žućaksto-narančaste nijanse. Najbolji primjer su knjige pod brojem 1, 3 i 5. Korice knjige 1 i 3 doimaju se narančastom, a porastom temperature crvenom. Kod knjige broj 5 korica iz smeđe-okor boje porastom temperature prelazi u sivu sa primjesom plave. Knjige plavih korica, tj. knjige pod brojem 2, 6 i 8 kod nižih temperatura izgledaju tamnije. Na knjigu 7, žutih korica, promjena temperature nije imala utjecaj koliko na druge boje.

Kako bi se točno znala razlika u boji kod različitih temperatura potrebno je izračunati CIEDE2000.

CIEDE2000 je formula za razliku između dvije boje. Niže vrijednosti CIEDE2000 ukazuju na manju razliku, dok visoke vrijednosti ukazuju na značajnu neusklađenost.

Kolorimetrijska razlika CIEDE2000 računa se prema slijedećoj jednadžbi:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

Pri tome vrijedi:

- korekcija svjetlosti

$$\Delta L' = L'b - L's,$$

b = uzorak (batch), s = standard

$$L' = L^*$$

$$SL = 1 + 0.015(L'm - 50)^2/[20 + (L'm - 50)^2]^{1/2}$$

$$L'm = (L'b + L's)/2$$

- korekcija krome:

$$\Delta C' = C'b - C's,$$

$$C' = (a'^2 + b'^2)^{1/2}$$

$$a' = a^*(1 + G)$$

$$G = 0.5 \{ 1 - [(C^*m)^7 / (C^*m^7 + 257)]^{1/2} \}$$

$$C^*m = (C's + C'b)/2$$

•korekcija tona boje:

$$\Delta H' = 2(C'b - C's)1/2 \sin(\Delta h'/2)$$

$$\Delta h' = h'b - h's$$

$$h' = \arctan(b'/a') , \text{ kut } h' \text{ je izražen u stupnjevima od } 0^\circ - 360^\circ$$

$$SH = 1 + 0.015C'mT$$

$$T = 1 - 0.17\cos(h'm - 30) + 0.24\cos(2h'm) + 0.32\cos(3h'm + 6) - 0.20\cos(4h'm - 63)$$

$$h'm = (h's + h'b)/2$$

•korekcija orijentacije elipsa u plavom području:

$$RT = -\sin(2\Delta\Theta)RC$$

$$\Delta\Theta = 30\exp\{- [(h'm - 275)/25]^2\}$$

$$RC = 2[C'm7/(C'm7 + 257)]^{1/2}$$

U ovom slučaju uzeta je razlika vrijednosti boje kod temperature od 2700K i 6500K.

4.1. Dobivene vrijednosti boja i razlika u boji CIEDE2000

CIELAB vrijednosti boje bez balansa bijelog

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
2700K	L*	59.25	43.53	60.67	57.21	57.96	47.14	70.92	36.06
	a*	66.79	19.08	63.45	-31.21	26.33	8.16	37.54	12.02
	b*	64.15	27.44	59.20	53.77	50.99	1.25	74.42	-2.98
4600K	L*	60.16	44.82	61.95	62.64	58.36	51.84	74.97	40.52
	a*	64.49	5.51	61.62	-44.47	7.39	4.36	29.23	11.55
	b*	52.58	-2.28	43.52	39.29	25.35	-35.19	74.40	-37.28
6500K	L*	57.82	46.51	62.71	66.76	60.44	57.35	77.76	46.09
	a*	55.57	-7.57	61.41	-48.17	-6.20	1.35	15.50	9.91
	b*	35.99	-19.74	30.52	27.28	3.09	-51.41	72.11	-54.74
CIEDE2000		9.95	35.77	12.63	16.39	29.32	30.60	13.02	29.20

Vrijednosti CIEDE2000 pokazuju kako je najmanja razlika u boji kod knjiga 1 i 3, pa knjige 7 (žute boje) i knjige 4 (zelene). Najveću razliku u boji imaju plave knjige (2, 6, 8).

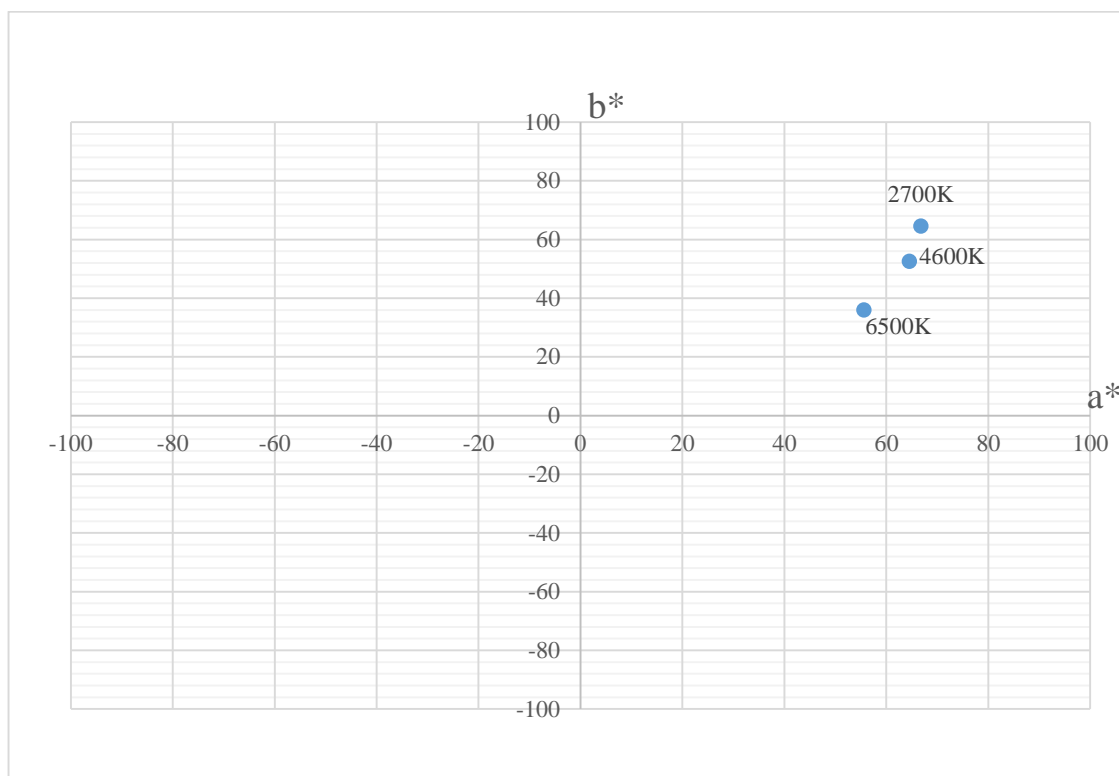
CIELAB vrijednosti boje sa korištenjem balansa bijelog

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
2700K	L*	56.82	39.08	61.28	55.51	55.36	45.56	72.85	34.92
	a*	60.73	4.90	61.42	-39.84	5.74	1.34	33.20	5.82
	b*	57.78	8.77	55.08	38.58	39.02	-19.29	74.19	-21.19
4600K	L*	54.87	43.79	61.76	61.35	59.14	53.14	75.31	40.78
	a*	55.99	-0.62	59.37	-41.61	-3.34	7.38	18.90	15.41
	b*	40.55	-24.46	34.21	14.20	4.67	-54.20	67.73	-56.93
6500K	L*	54.59	46.49	61.18	65.55	58.81	55.07	76.59	47.51
	a*	53.60	-2.61	59.43	-45.72	-7.79	7.94	12.46	15.55
	b*	27.42	-29.16	18.41	17.21	-7.35	-58.93	67.15	-64.95
CIEDE2000		12.73	26.97	16.94	13.56	29.48	16.18	11.41	19.37

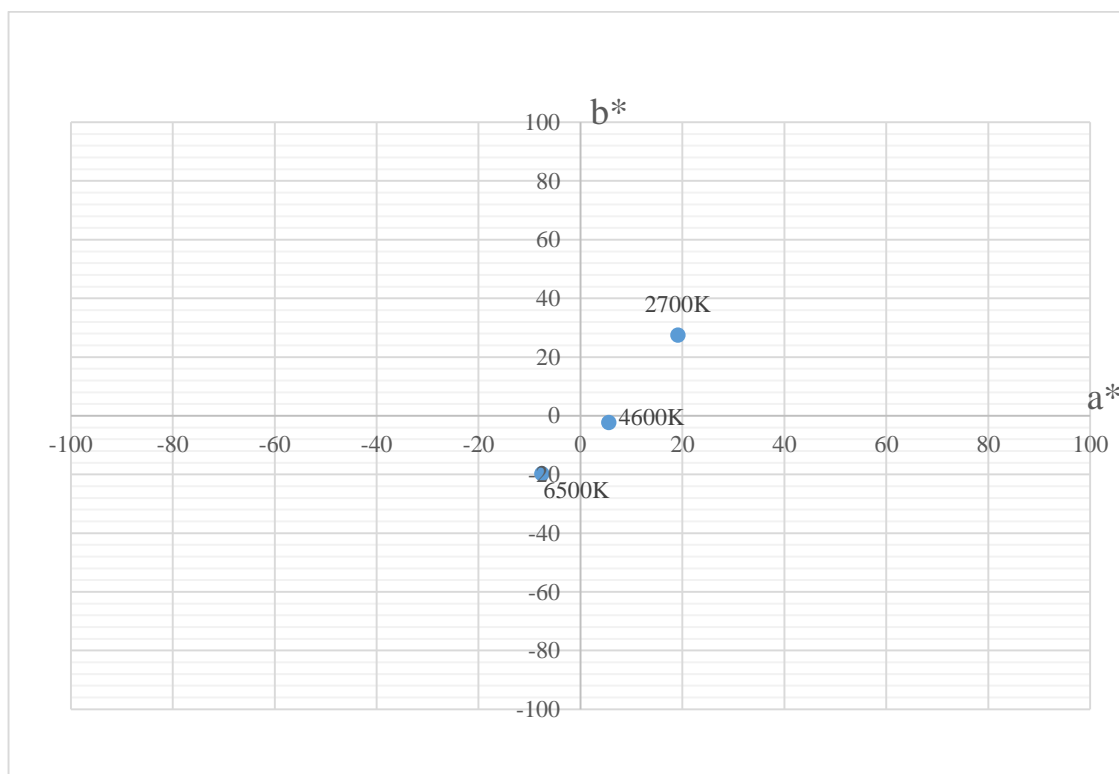
Korištenjem postavke bijelog balansa, kod plavih knjiga najviše se smanjila razlika u boji porastom temperature, dok naračaste knjige (koje porastom temperature postaju crvene) povećavaju razliku u boji.

Vrijednosti a^* i b^* kod nižih temperatura imaju veće vrijednosti, dok se kod viših temperatura smanjuju.

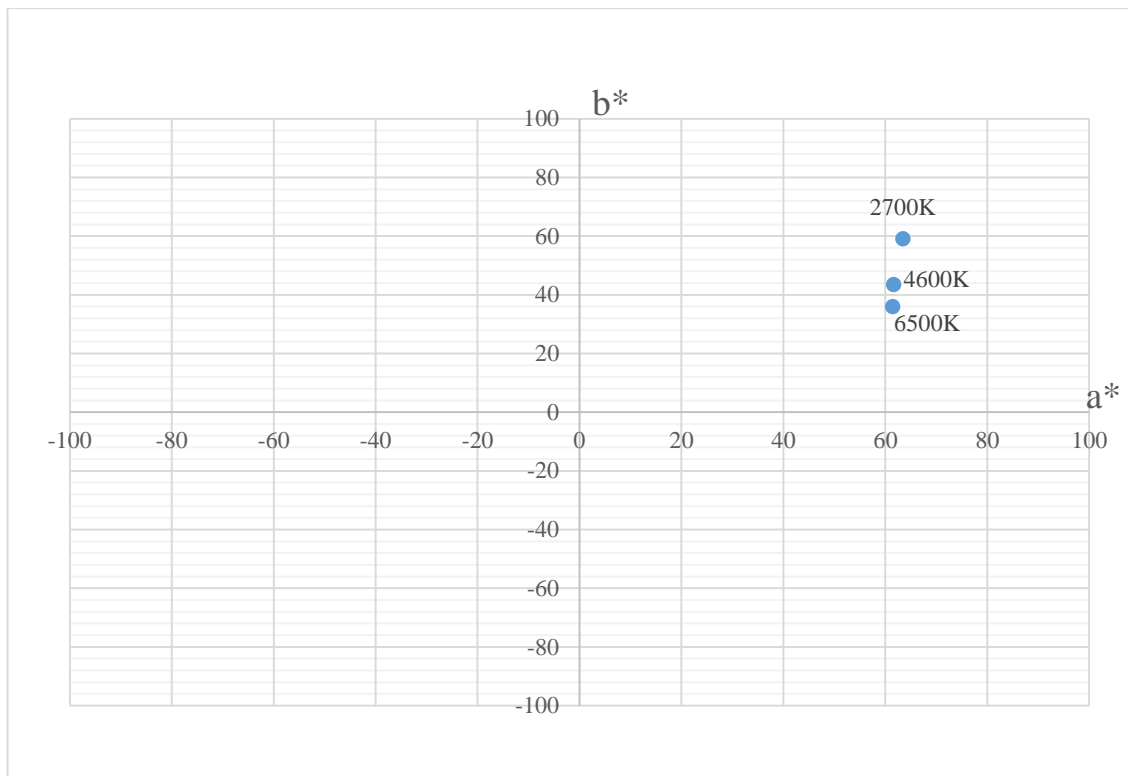
4.2. Grafički prikazi vrijednosti boja



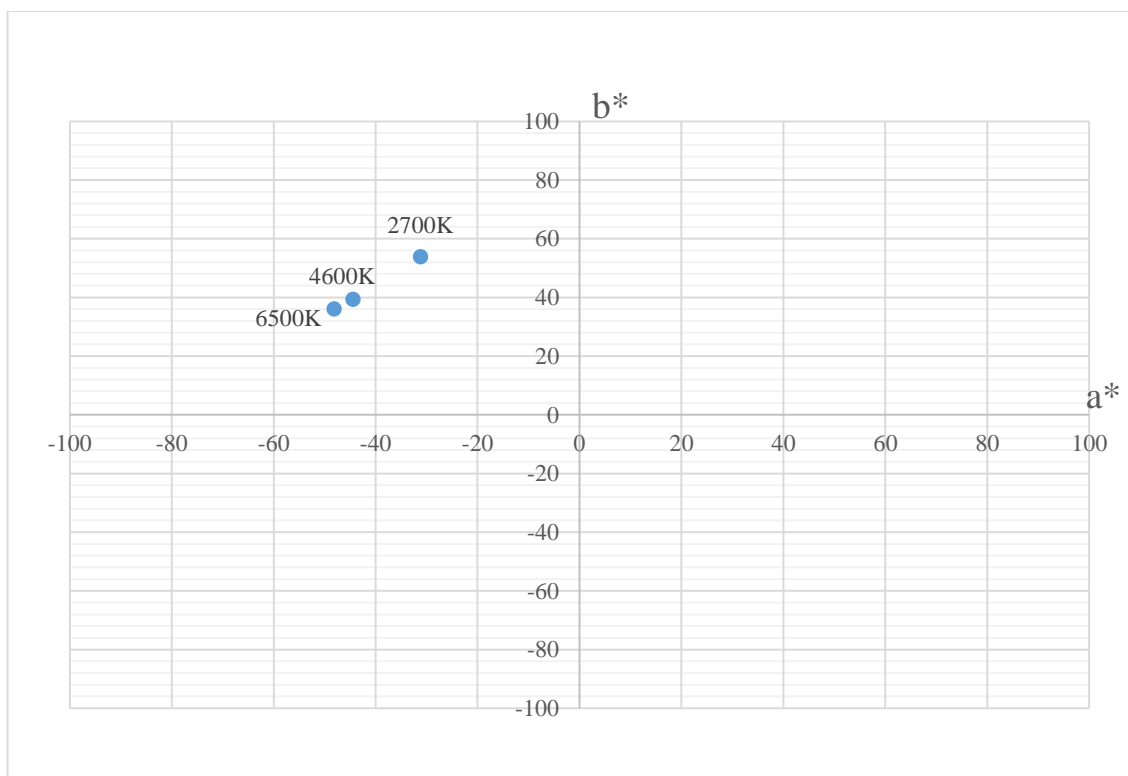
Slika 14. Vrijednosti boja 1. uzorka bez balansa bijelog



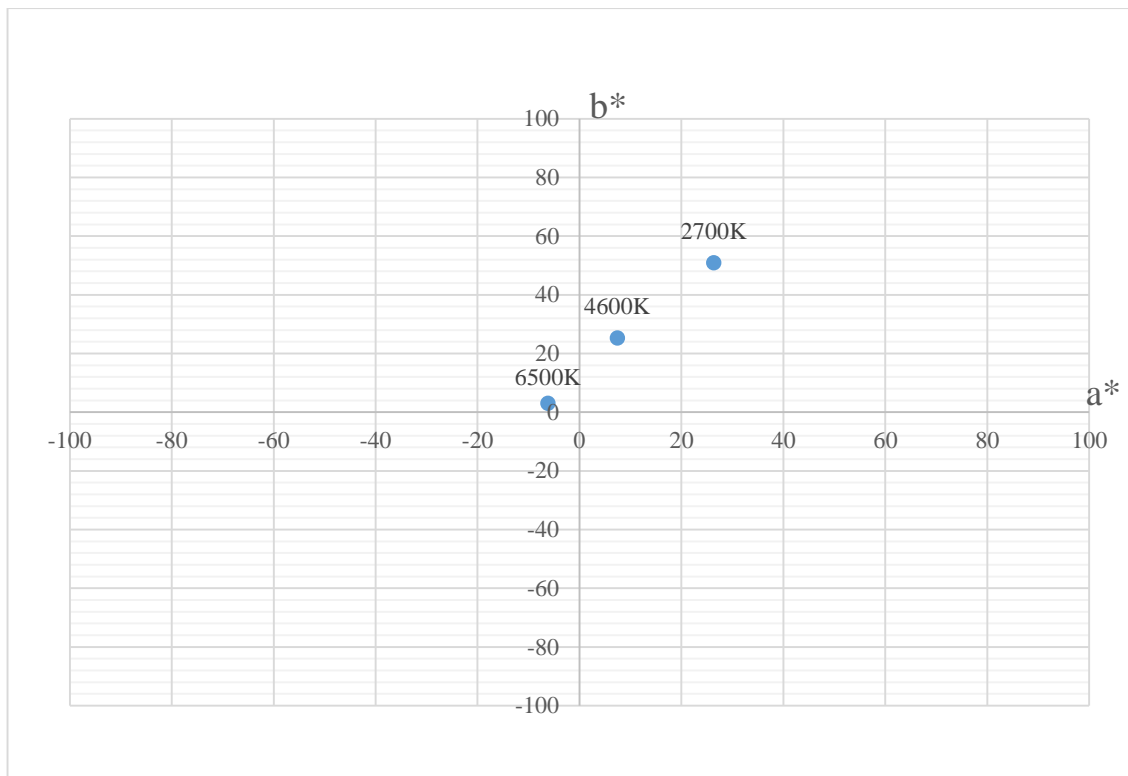
Slika 15. Vrijednosti boja 2. uzorka bez balansa bijelog



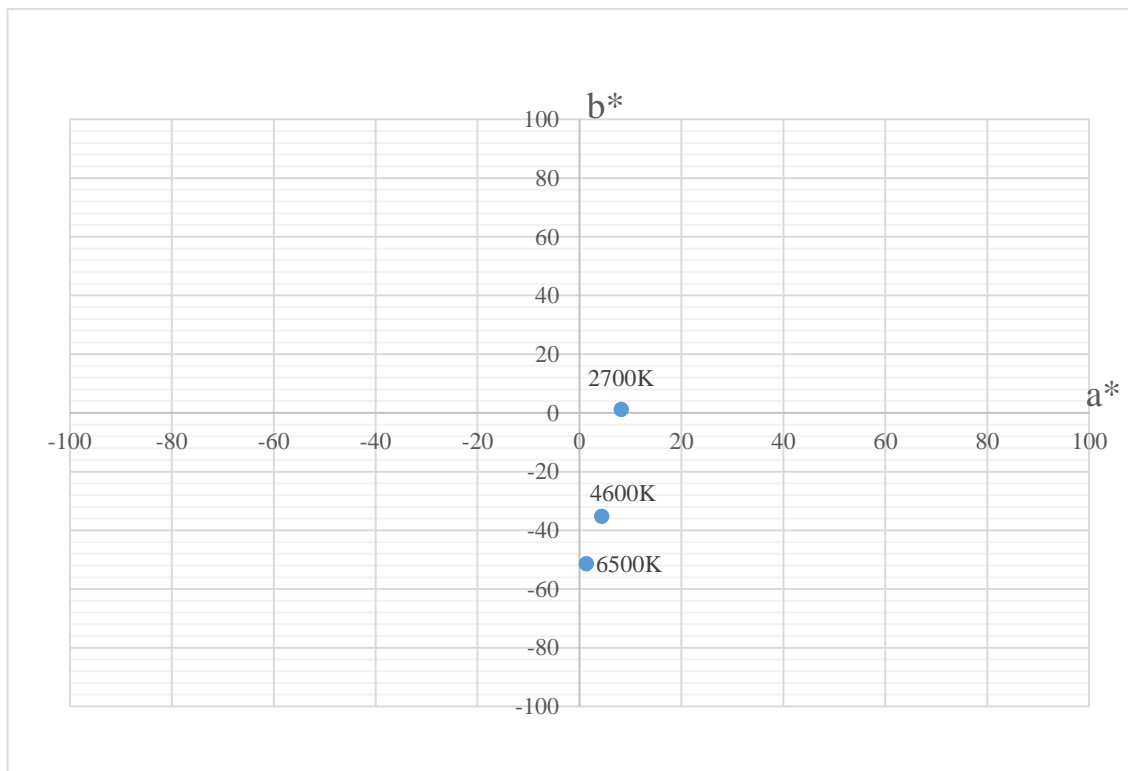
Slika 16. Vrijednosti boja 3. uzorka bez balansa bijelog



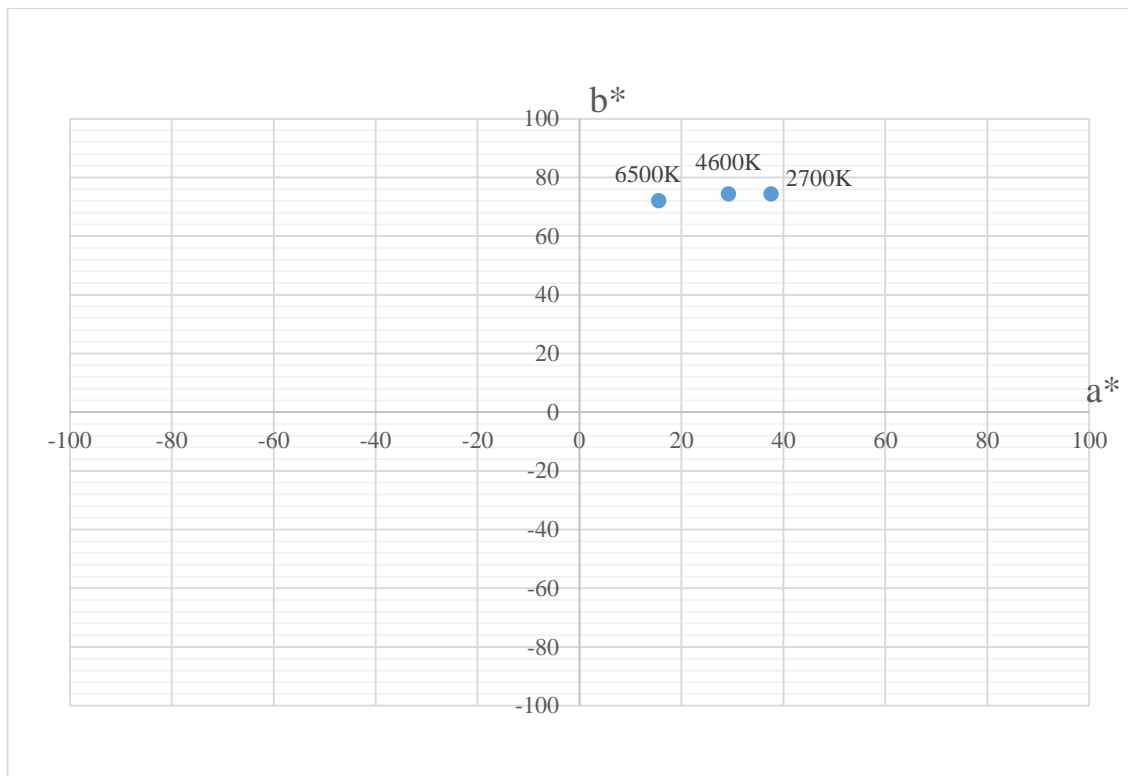
Slika 17. Vrijednosti boja 4. uzorka bez balansa bijelog



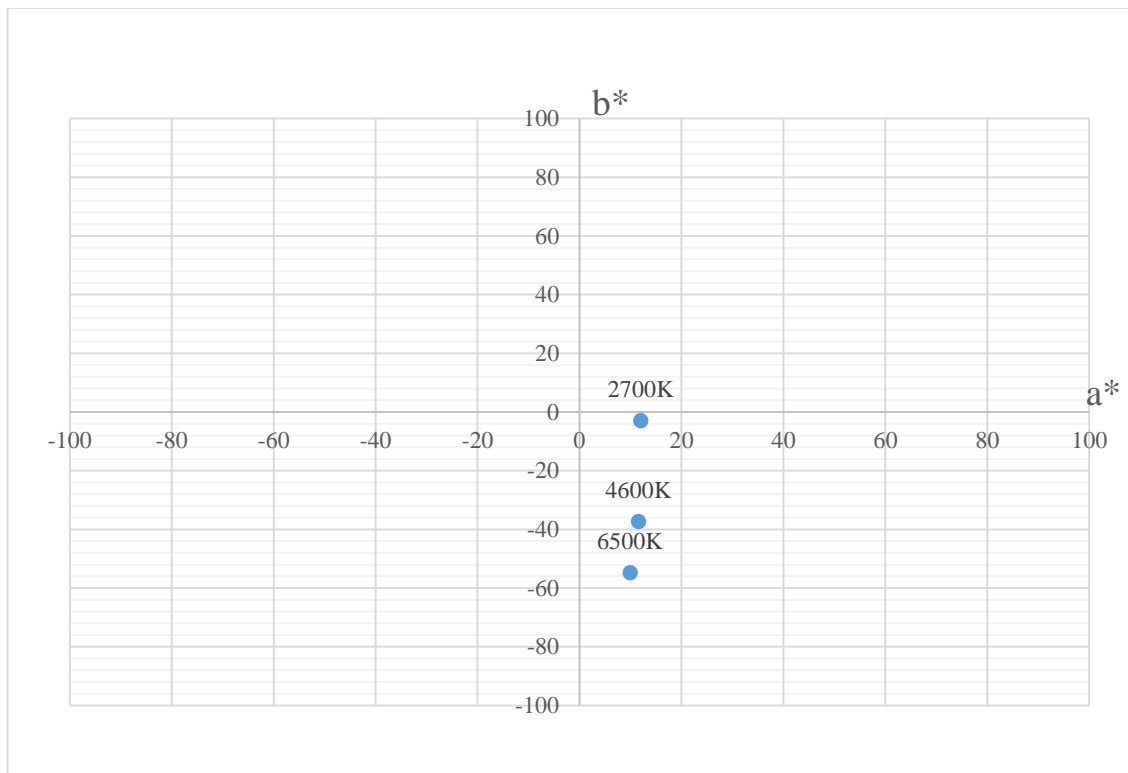
Slika 18. Vrijednosti boja 5. uzorka bez balansa bijelog



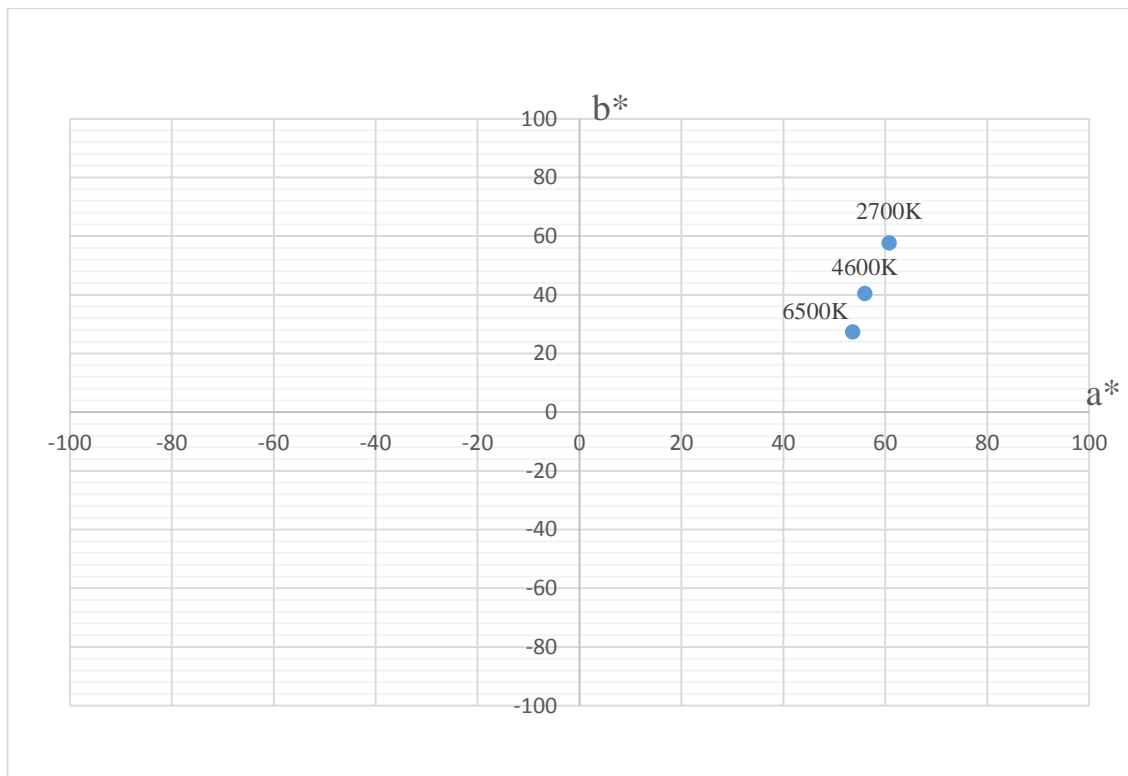
Slika 19. Vrijednosti boja 6. uzorka bez balansa bijelog



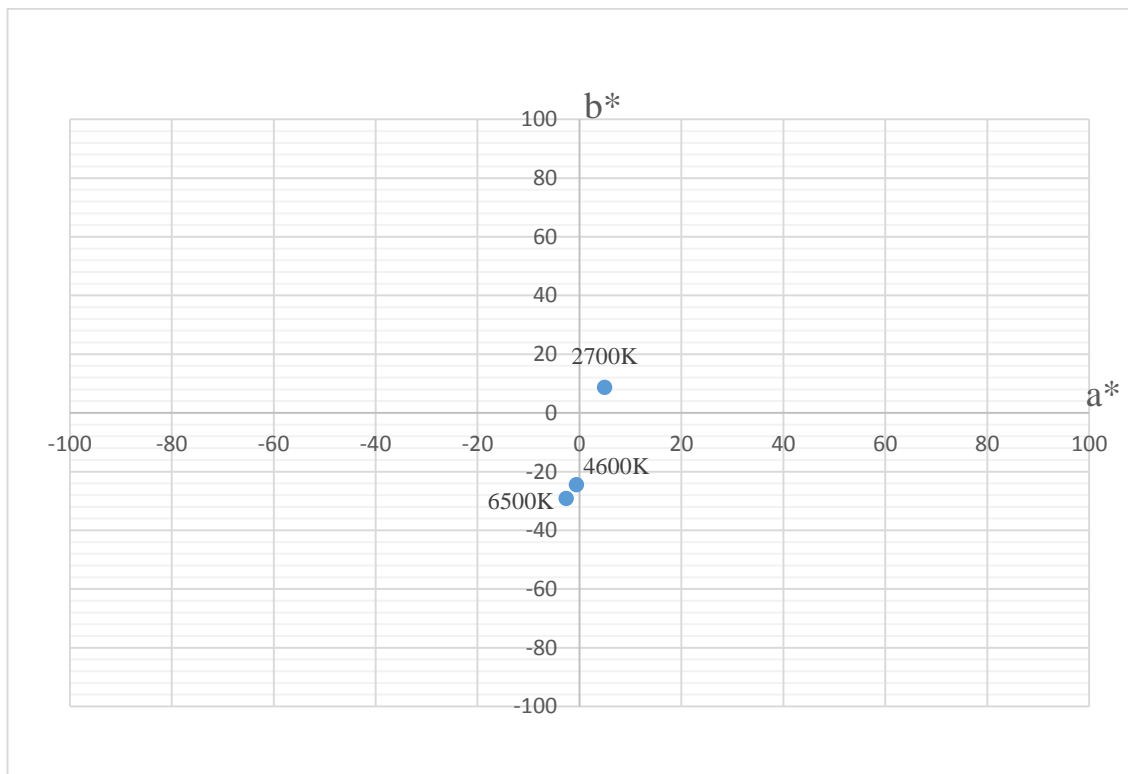
Slika 20. Vrijednosti boja 7. uzorka bez balansa bijelog



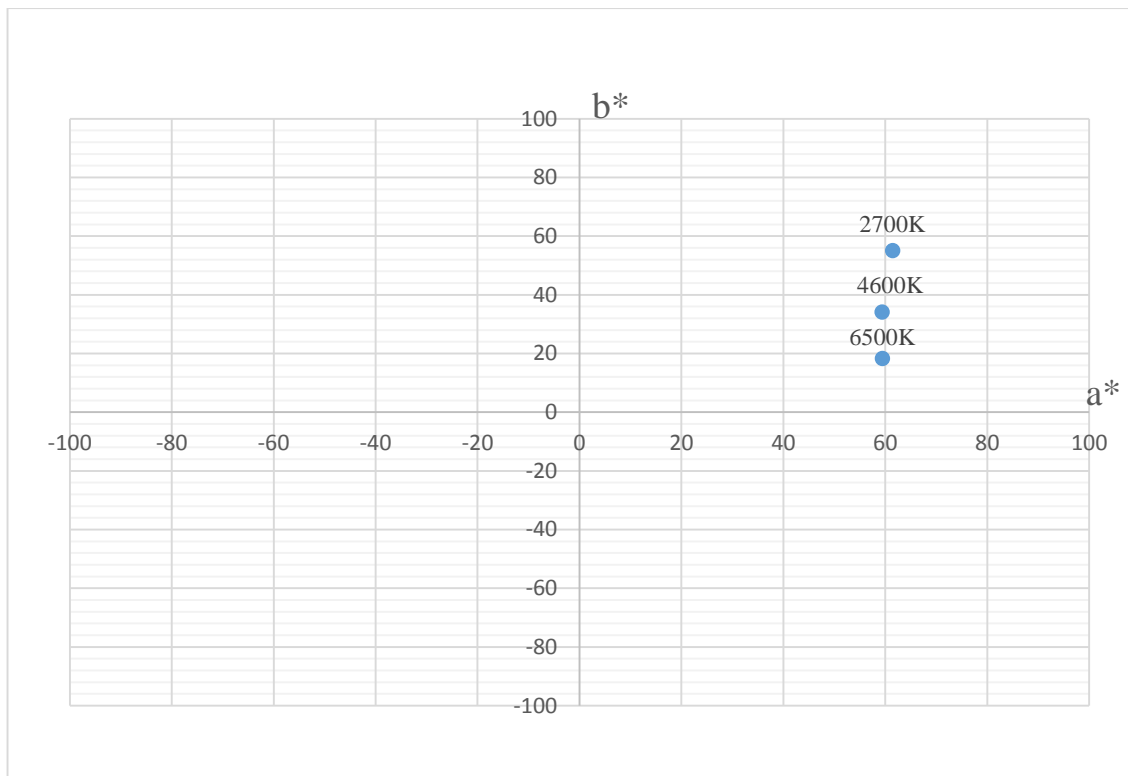
Slika 21. Vrijednosti boja 8. uzorka bez balansa bijelog



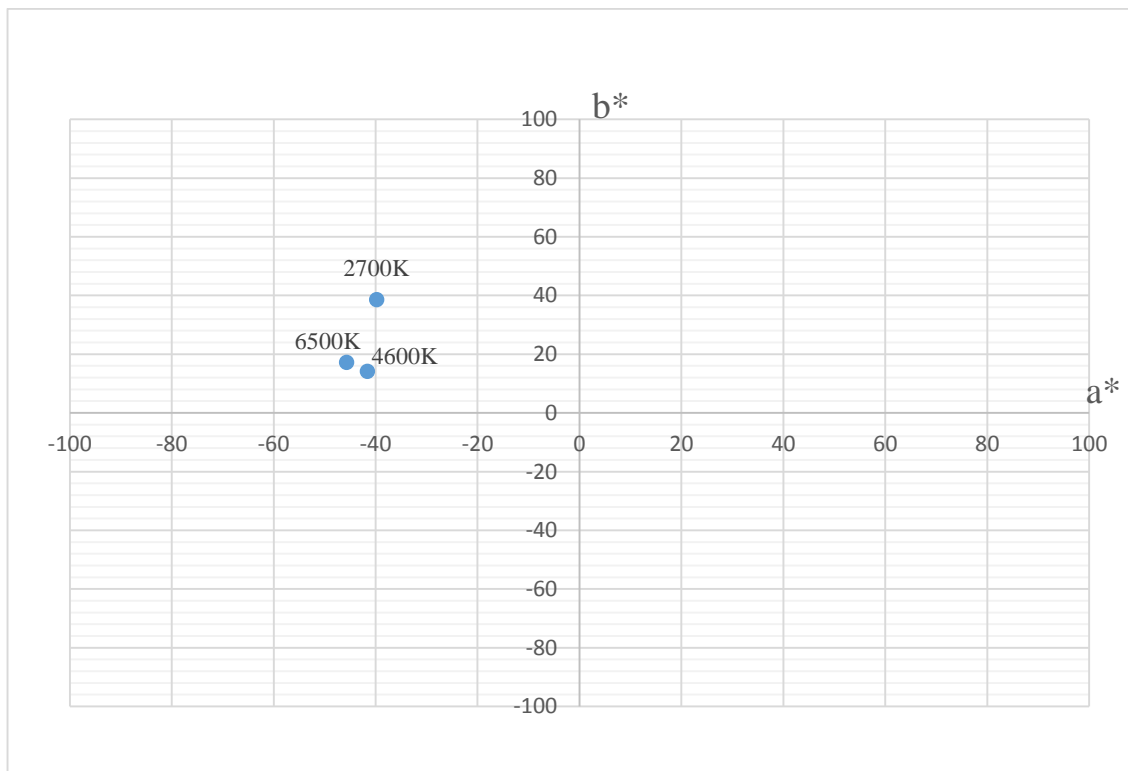
Slika 22. Vrijednosti boja 1. uzorka sa balansom bijelog



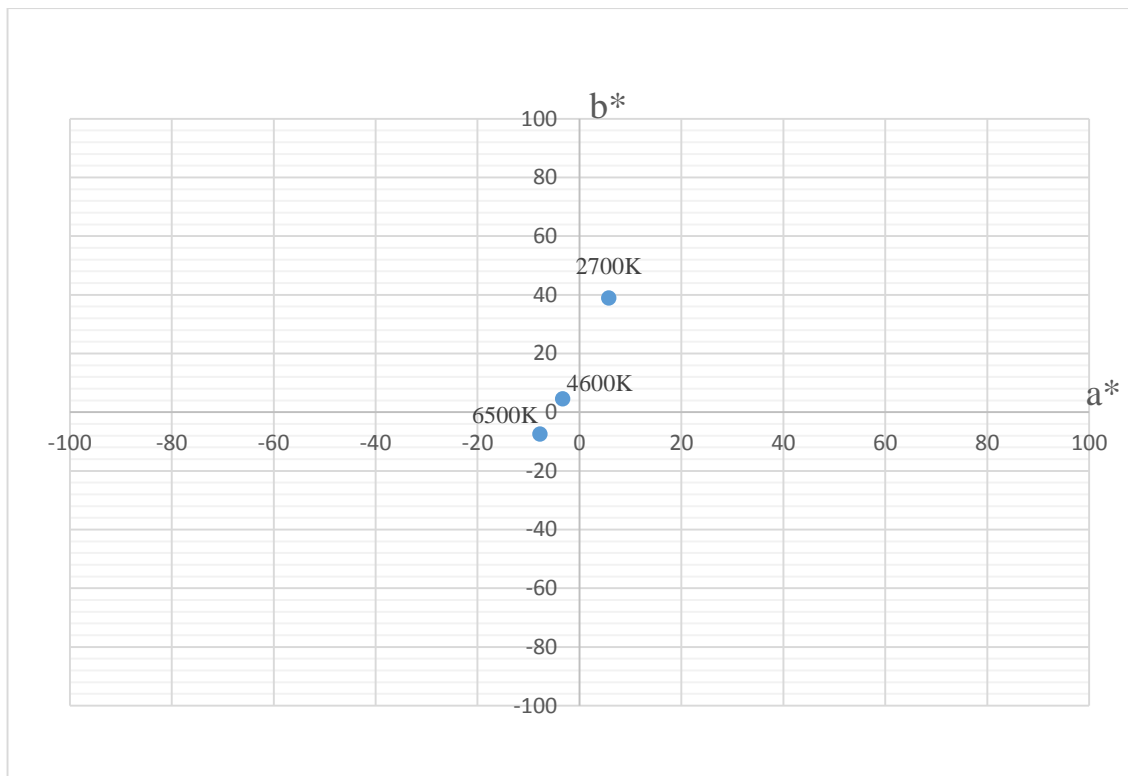
Slika 23. Vrijednosti boja 2. uzorka sa balansom bijelog



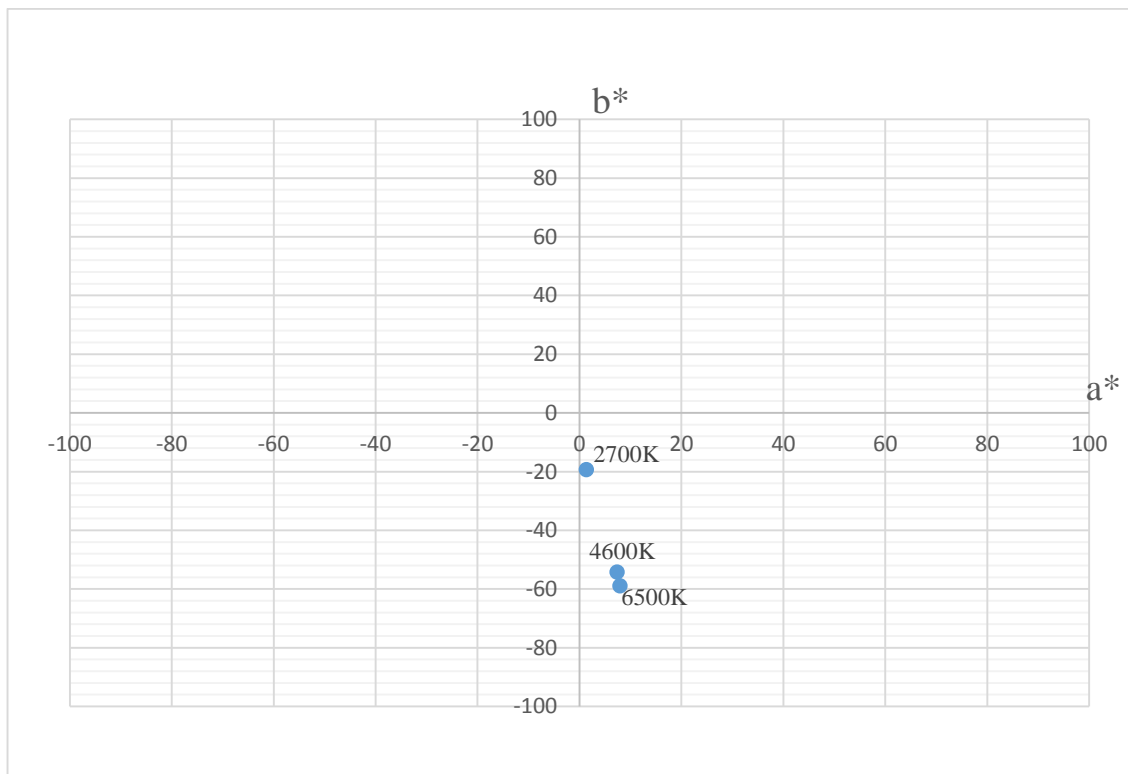
Slika 24. Vrijednosti boja 3. uzorka sa balansom bijelog



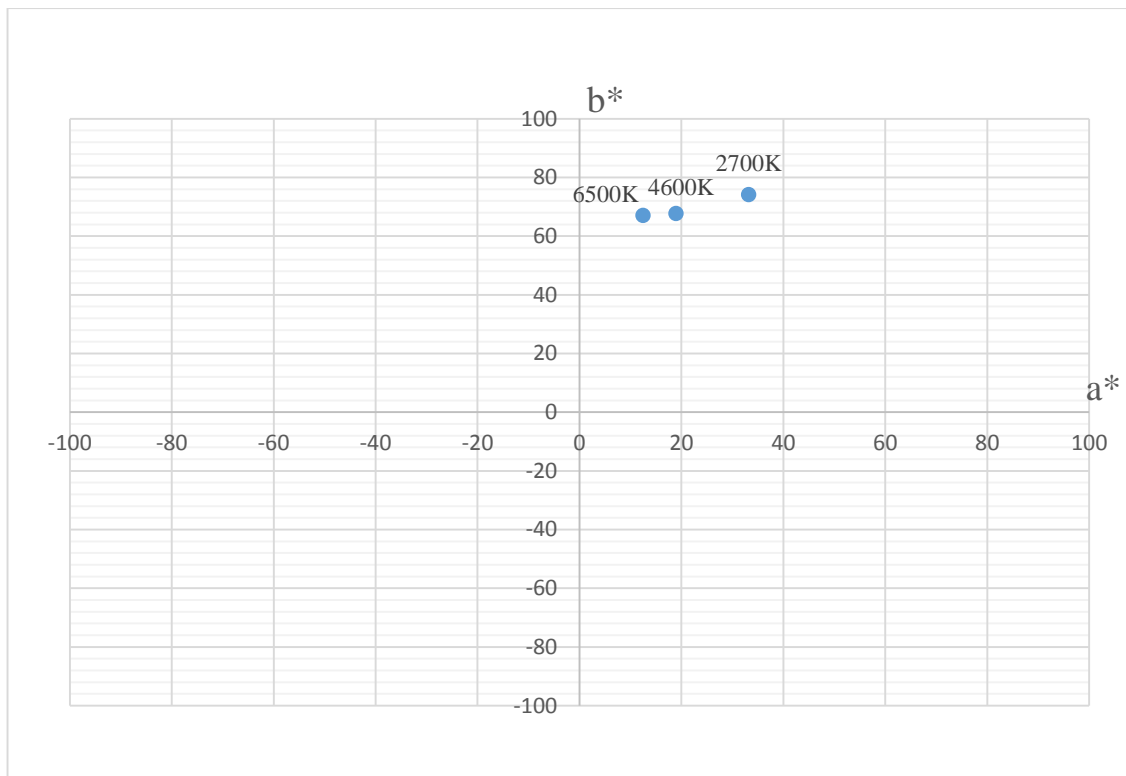
Slika 25. Vrijednosti boja 4. uzorka sa balansom bijelog



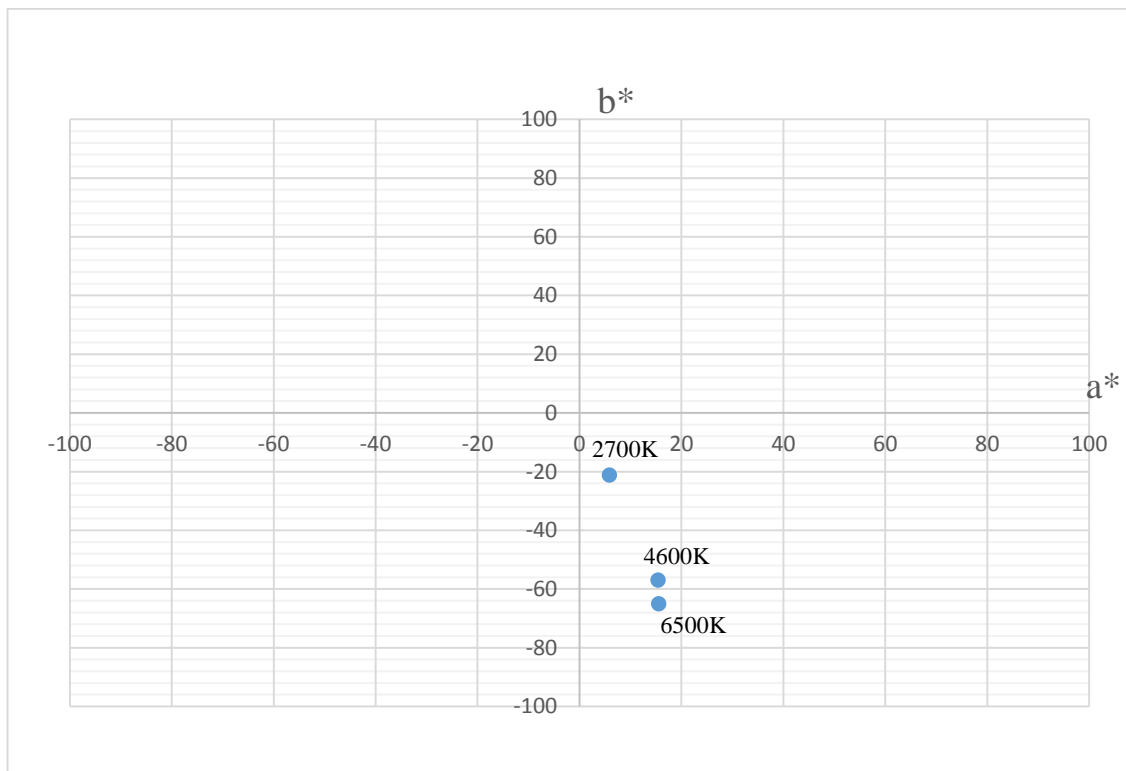
Slika 26. Vrijednosti boja 5. uzorka sa balansom bijelog



Slika 27. Vrijednosti boja 6. uzorka sa balansom bijelog



Slika 28. Vrijednosti boja 7. uzorka sa balansom bijelog



Slika 29. Vrijednosti boja 8. uzorka sa balansom bijelog

Iz grafova koji prikazuju vrijednosti boja bez balansa bijelog može se vidjeti da kako se temperatura povećava a^* i b^* vrijednosti se snižavaju te ukoliko bi se temperatura još više povećavala te vrijednosti bi još više težile negativnom, zeleno-plavom, dijelu CIE $L^*a^*b^*$ prostora boja.

Kod grafova koji prikazuju vrijednosti boja fotografiranih motiva korištenjem balansa bijelog odvija se slična situacija. Većina uzoraka je manjom temperaturom imala veće a^* i b^* vrijednosti, dok se kod motiva plave boje (6,8) i a^* i b^* snižavaju.

5. ZAKLJUČCI

Temperatura boje svjetlosti karakteristika je vidljive svjetlosti koja ima važnu primjenu u osvjetljenju, fotografiji, videografiji, proizvodnji, astrofizici i drugim poljima.

Najbolji primjer za korištenje temperature svjetlosti je u svakodnevnom životu prilikom odabira rasvjete. Različite vrste rasvjete emitiraju različite temperature boje svjetlosti i svaka može različito utjecati na prostor; što je temperatura veća, svjetlost je hladnija, a što je niža, svjetlost je toplija. Bez obzira na opciju koja se odabere, temperatura boje u potpunosti će utjecati na prostor. Bez obzira želi li se osvijetliti radni prostor ili vlastiti dom, temperatura boje će igrati veliku ulogu.

6. LITERATURA

- [1] Nedjeljko Rado, Energetska učinkovitost LED rasvjete - primjer iz prakse, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.
- [2]http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%202.dio.pdf
- [3] <https://www.cee.hr/boja-svjetlosti/>
- [4] http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf
- [5] R. W. G. Hunt, Measuring Colour. England: Ellis Horwood Limited, 1991.
- [6] T. Jakobsson, S. S. Bergstrom, K. A. Gustavsson, S. Lindberg, Human Sensitivity to Colour Shifts in Prints. Adv. Print Sci Technol. Pira Int Uk, 1998.
- [7] https://davorzerjav.from.hr/wp-content/uploads/2015/10/osnove_fotografije_davor_zerjav.pdf

