

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Emilija Grigić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko - tehnološki

ZAVRŠNI RAD

SVJETLOSTABILNOST REPRODUKCIJE BOJA PRI RAZLIČITIM VRSTAMA PODLOGE ZA ISPIS FOTOGRAFIJA

Mentor:

Prof. Dr. Sc. Nina Knešaurek

Student:

Emilija Grigić

Zagreb, 2014.

SAŽETAK

Svjetlostabilnost predstavlja trajnost bojila i otpornost djelovanju svjetlosti na njen sastav, a samim tim i na njen vizualni dojam, odnosno promjenu u svjetlini, tonu i zasićenju boje. Promjene koje se mogu dogoditi variraju od minimalnih, jedva oku primjetnih, do značajnih promjena u psihofizičkom doživljaju boje od strane promatrača te numeričkim vrijednostima a^* , b^* i svjetline L^* . Pri određivanju svjetlostabilnosti važno je u obzir uzeti ne samo sastav i karakteristike bojila, nego i osobine podloge na kojoj se vrši otiskivanje kako bi se otpornost otiska što točnije predvidjela. U završnom radu ispitivala se svjetlostabilnost otiska osam standardnih boja na četiri različite podloge, ispisane pomoću dva pisača, Canon iP4000 i Canon Pixma MG 5350. Korištene su zamjenske tinte i originalne tinte preporučene od strane proizvođača, kako bi se ispitao faktor bojila, dok je faktor podloge ispitan korištenjem generičkih papira i preporučenog papira. Podvrgavanjem otisaka djelovanju svjetla u komori za starenje, simulirano je izlaganje sunčevom zračenju u periodu od 5 mjeseci, a zabilježene promjene su uspoređene prema podlozi i prema pisaču.

KLJUČNE RIJEČI:

- Svjetlostabilnost, inkjet otisci, bojila, pigmenti, fotopapir, CIELAB

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. SVJETLOSTABILNOST.....	2
2.1.1. Pojam svjetlostabilnosti.....	2
2.1.2. Mjerenje svjetlostabilnosti.....	3
2.2. <i>INKJET</i> PISAČI.....	6
2.2.1. Vrste <i>Inkjet</i> pisača.....	7
2.3. KOLORANTI.....	9
2.3.1. Bojila (<i>dyes</i>).....	9
2.3.2. Pigmenti.....	11
2.4. FOTOPAPIRI.....	13
2.4.1. Bubrivi <i>Inkjet</i> premazani fotopapiri.....	14
2.4.2. Porozni <i>Inkjet</i> premazani fotopapiri.....	14
2.5. CIELAB SUSTAV BOJA.....	16
2.5.1. Razlika boje.....	18
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	22
3.1. Korišteni materijali i uređaji.....	22
3.2. Rezultati i rasprava.....	23
4. ZAKLJUČAK.....	37
5. LITERATURA.....	38

1. UVOD

Očuvanje kvalitete boja oduvijek je bila jedna od najvažnijih značajki skladištenja i čuvanja fotografija. Svjetlost je ključan faktor pri njihovoj izradi; tek pod utjecajem svjetla motiv koji fotografiramo ostaje zabilježen na filmu, a zatim i na fotografskom papiru. Dok u procesu izrade fotografija svjetlost djeluje pozitivno i omogućava njihov nastanak, jednom izrađene fotografije potrebno je od svjetla zaštititi. Prilikom izlaganja fotografija sunčevoj svjetlosti dolazi do površinskih promjena i mijenja se njihov vizualni dojam. U današnje vrijeme, analogne fotoaparate i klasično razvijanje zamijenili su digitalni fotoaparati i digitalni ispis fotografija. Sve više kućnih pisača ima mogućnost kvalitetnog ispisa fotografija, što je učinilo ovu praksu vrlo raširenom i popularnom zahvaljujući svojoj pristupačnosti, jednostavnosti i niskoj cijeni. Uz značajne promjene u metodama izrade fotografija i napredak tehnologije, potreba za njihovom trajnošću i otpornošću ostala je ista. U ovom završnom radu ispitat će se ispisi 2 pisača na 4 različita fotografska papira te postojanost boje prije i nakon izlaganja uvjetima umjetnog starenja u komori za starenje. Njihovom usporedbom nastojat će se dokučiti ovisi li postojanost boje o podlozi, sastavu bojila ili je rezultat kombinacije istih.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. SVJETLOSTABILNOST

2.1.1. Pojam svjetlostabilnosti

Svjetlostabilnost ili svjetlostalnost bojila se definira kao trajnost i otpornost na utjecaj svjetla. Svjetlostabilnost podrazumijeva otpornost bojila na posvjetljivanje, mijenjanje tona boje, ali i potamnivanje pod utjecajem svjetla. Ona je uvjetovana sastavom bojila, ali i vremenom izlaganja svjetlu, atmosferskim uvjetima te vezivnoj tvari unutar samog bojila.^[1]

Razlog zbog kojeg dolazi do promjena u izgledu boje je propadanje, odnosno slabljenje sredstva koje se koristilo za obojenje – bojila ili pigmentata. Također, svjetlost utječe i na vezivne tvari unutar tvari za obojenje, podlogu na kojoj se nalazi otisak te na lakove i premaze koji se ponekad koriste za zaštitu otiska.

Upravo iz tog razloga, otisak bi se trebao promatrati kao cjelina gdje je korišteno sredstvo za obojenje samo jedan od faktora u ukupnom doživljaju boje.

Faktori koji utječu na svjetlostabilnost:

- Vrsta svjetla (prirodno ili umjetno)
- Intenzitet svjetla (godišnje doba, kut upada svjetlosti, refleksija od površine)
- Kolorant (pigment ili bojilo)
- Debljina nanosa boje
- Prozirnost nanosa boje
- Pigmentacija boje
- Udio punila ili bijelog pigmenta/bojila

Što je nanos boje tanji, boja prozirnija i pigmentacija niža, to je boja sklonija izbljediti i promijeniti svoje karakteristike. Boje koje imaju velik udio punila ili bijelog pigmenta kao npr. pastelne boje, imat će slabu svjetlostabilnost čak i ako sadrže kvalitetne pigmente koji su otporni na djelovanje svjetla.



2.1.2. Mjerenje svjetlostabilnosti

Blue wool ljestvica

Svjetlostabilnost bojila izražava se kao promjena u kolorimetrijskim svojstvima u usporedbi sa standardiziranim uzorcima plavo obojene vune.¹

Međunarodne norme za mjerenje i definiranje svjetlostabilnosti opisane su DIN² standardom (DIN 16519 i DIN 16252), AFNOR³ (Q64-022) te standardom najpoznatije međunarodne organizacije ISO⁴ 2835.

Najčešće korištena metoda uključuje izlaganje umjetnom izvoru svjetla, ksenonskoj lučnoj lampi, koja emitira spektar vrlo sličan dnevnom sunčevom svjetlu. Ispitivani uzorci izlažu se istovremeno sa standardiziranom skalom boja *Blue wool* (Slika 1.) na jakost svjetla jednakoj tromjesečnom sunčevom djelovanju.

8 -		Izuzetno.....	2 godine
7 -		Izvršno.....	7-12 mjeseci
6 -		Vrlo dobro.....	3-6 mjeseci
5 -		Dobro.....	2-3 mjeseca
4 -		Umjereno dobro...	1 mjesec
3 -		Osrednje.....	2 tjedna
2 -		Loše.....	4-7 dana
1 -		Vrlo loše.....	1-2 dana

Slika 1. *Blue Wool Scale*

Izvor: www.brancher.com/IMG/jpg/BR_GB_111_1-4.jpg

Skala boja sastoji se od uzoraka vune u obliku trakica, sjenčanih sa 8 plavih bojila čija se svjetlostabilnost ravnomjerno povećava na aritmetičkoj ljestvici od

¹ *Blue wool scale*

² Deutsches Institut für Normung – Njemački institute za standardizaciju

³ Association Francaise de Normalisation – Francuski institut za standardizaciju

⁴ International Organization for Standardization – Međunarodna organizacija za standardizaciju

1 - 8. Test završava sa promjenom boje uzorka koja se onda uspoređuje sa ljestvicom i označava odgovarajućom brojkom. Ukoliko se promjena uzorka nalazi između dvije nijanse, označava se rasponom između dvije brojke, npr. 6-7. Ukoliko je boja potamnila, dodaje se slovo „N“ kako bi se označila promjena boje u suprotnom smjeru od uobičajenog, tj. od svjetlijeg prema tamnijem.

Vremenski period pridodan svakom broju označava koliko dugo uzorak može biti izložen djelovanju svjetlosti bez promjene u boji. Tako prema *Blue Wool* ljestvici uzorci sa najvišom ocjenom svjetlostabilnosti (8) ne mijenjaju svoja svojstva kroz 2 godine kontinuirane izloženosti svjetlu. Iako je ova metoda dugo vremena bila korištena u tekstilnoj, grafičkoj i drugim industrijama, pokazala se kao uglavnom nepouzdana zbog neizostavnog ljudskog faktora, odnosno potrebe za subjektivnom usporedbom uzoraka.^[2]

ASTM⁵ mjerenje

Američko društvo za ispitivanja i materijale razvilo je metodu za objektivno mjerenje svjetlostabilnosti bojila. Ispituju se uzorci čiste boje i boje miješane sa definiranom količinom bijele boje ili vode, koji se potom izlažu propisanoj količini svjetla. Uzorci se mjere CIE⁶L*a*b* metodom prije i poslije testiranja te se putem matematičke formule za ΔE_{ab}^* (1) određuje svjetlostabilnost.^[3]

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1)$$

Delta E predstavlja razliku u svakoj L^* , a^* i b^* vrijednosti između početne i krajnje veličine, što točno definira promjenu u boji koja se dogodila. Pomoću Euklidske udaljenosti⁷ promjeni boje može se pridodati broj čiji iznos odgovara

⁵ American Society for Testing and Materials – Američko društvo za ispitivanja i materijale

⁶ Commission Internationale de l'Éclairage – Međunarodna komisija za rasvjetu

⁷ Najmanja udaljenost između dvije točke u prostoru

ukupnoj promjeni, ali ne govori o tome u kojem smjeru se određena boja promijenila. Dobiveni broj uspoređuje se sa ASTM tablicom. Ako je broj ΔE^*_{ab} manji od 4, tada uzorak zadovoljava kriterije kategorije ASTM I, što je najviša kategorija i odgovara 7-8 na *Blue Wool* skali. Rezultat ΔE^*_{ab} od 4-8 odgovara ASTM II, 8-16 ASTM III itd. Vrijednost ispod i oko 1 je gotovo neprimjetna ljudskom oku.

U tablici 1. prikazan je međudodnos vrijednosti *Blue Wool* i ASTM ljestvice dok su navedeni vremenski periodi trajnosti predviđeni za muzejske uvjete.

Tablica 1. Vrijednosti Blue wool i ASTM^[4]

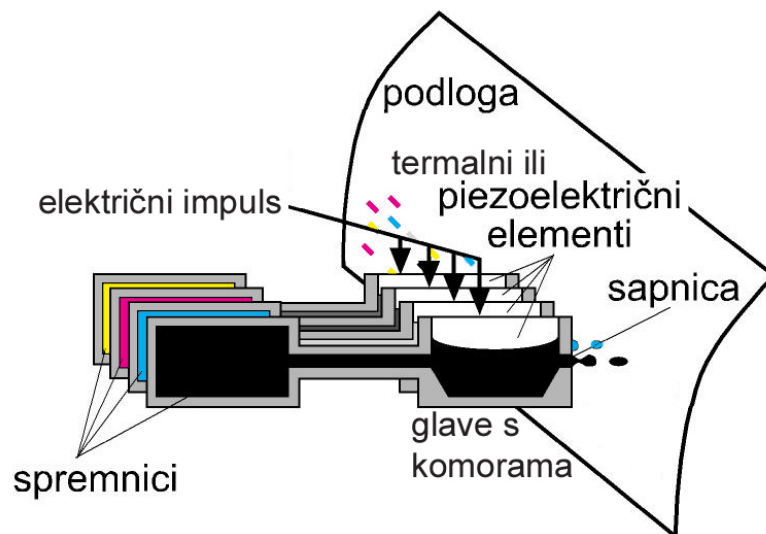
<i>Blue wool</i> / ASTM standardi svjetlostabilnosti			
<i>Blue wool</i>	Opis	<i>Blue wool</i>	Opis
8-7	I. Izvrsna svjetlostabilnosti. <i>Blue wool</i> 7-8. Bojilo će ostati nepromijenjeno više od 100 godina izloženosti svjetlu pod muzejskim uvjetima.	3-2	IV. Slaba svjetlostabilnost (Nepostojana) <i>Blue wool</i> 2-3. Bojilo počinje blijedjeti 2-15 godina, čak i u odgovarajućim uvjetima. (Nije pogodno za umjetničku upotrebu.)
6	II. Vrlo dobra svjetlostabilnost. <i>Blue wool</i> 6. Bojilo će ostati nepromijenjeno 50-100 godina izloženosti svjetlu pod odgovarajućim uvjetima.		
5-4	III. Dobra svjetlostabilnost (Promjenjiva) <i>Blue wool</i> 4-5. Bojilo će ostati nepromijenjeno 15 - 50 godina pod odgovarajućim uvjetima. ("Kvaliteta može biti zadovoljavajuća pri velikoj koncentraciji bojila ili primjenom dodatnih mjera zaštite od svjetla.")	1	V. Vrlo slaba svjetlostabilnost <i>Blue wool</i> 1. Bojilo počinje blijedjeti u dvije godine izloženosti svjetlu, čak i u odgovarajućim uvjetima. (Nije pogodno za umjetničku upotrebu.)

Kod određivanja svjetlostabilnosti mješavina uzima se vrijednost bojila sa nižom oznakom svjetlostabilnosti. Dodavanjem do 50% neprozirne ili prozirne bijele u mješavinu, svjetlostabilnost se na *Blue wool* ljestvici snižava za 1 stupanj, dok se dodavanjem do 90% ona snižava za 2 stupnja.

2.2. INKJET PISAČI

Inkjet pisači predstavnici su digitalne tehnike ispisa kod koje se digitalni zapis računalnim putem prenosi do pisača i izravno ispisuje. Prilikom ispisivanja ne formira se slika, nego se direktnim izbacivanjem kapljica tinte stvara otisak na podlozi. Najčešća metoda ispisa, DOD (eng. *drop on demand*), temelji se na istiskivanju kapljica po potrebi na mjesta na koja treba nanijeti tintu kako bi se formirala realna slika. DOD tehnika ispisa primjenjuje se kod termalnog *bubble jet* i piezoelektričnog *inkjet* pisača.

Ovakvi pisači ne mogu stvarati pravu višetonsku sliku, nego se ona ispisuje rasterski, što se kod kvalitetnih *inkjet* pisača vizualno doima kao ispis sa kontinuiranim prijelazom tonova.



Slika 2. Princip DOD *Inkjet* ispisa

Izvor: Mikota M., Studija digitalne portretne fotografije

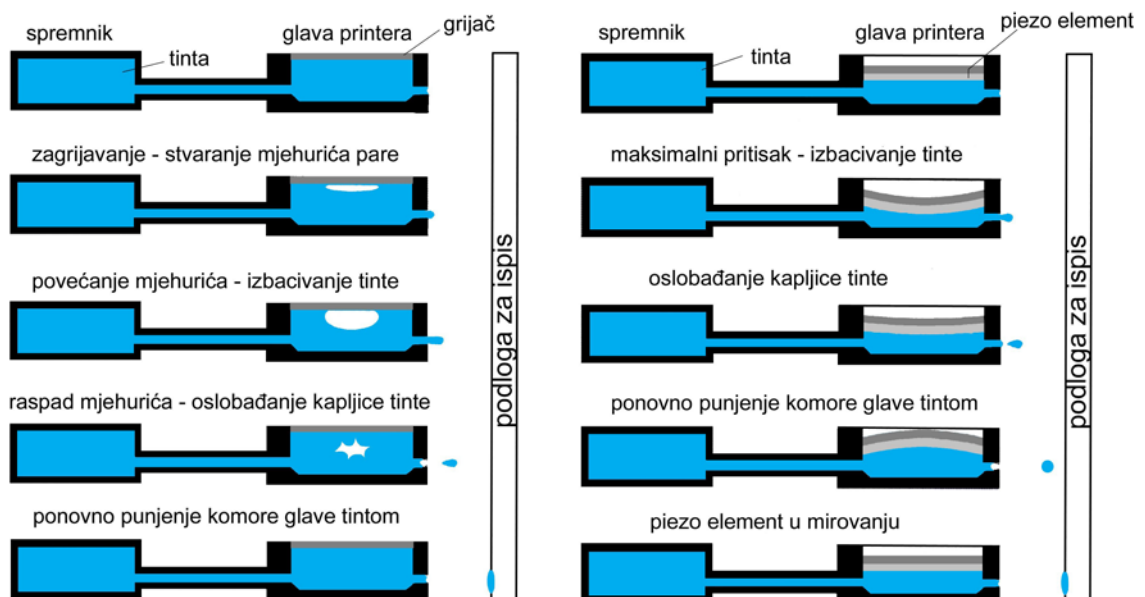
Pri ispisu kod *inkjeta* kao glavni nedostatak spominje se lošiji ispis svijetlih tonova te manji gamut, što je dovelo do dodavanja pete i šeste boje uz

standarne četiri (CMYK), svijetli cijan i svijetla magenta te ponekad čak i do korištenja osam boja, posebne „duboke“ crne i slično. S druge strane, povećavanjem broja boja usporava se ispis, a na korištenu podlogu nanosi se veća količina bojila što zahtijeva veću sposobnost prihvaćanja bojila te povećanu dimenzionalnu stabilnost.

2.2.1. Vrste *Inkjet* pisača

Bubble jet

Bubble jet odnosno termalni *inkjet* najstarija je DOD tehnologija. Prilikom ispisa tekuća tinta se dovodi iz spremnika do komore unutar glave pisača. Zagrijavanjem grijača i dobivanjem električnog impulsa stvara se mjehurić (eng. *bubble*) koji se širi i pritiskom kroz sapnicu izbacuje tintu na podlogu. Hlađenjem grijača unutar komore mjehurić nestaje, stvara se podtlak i nova količina tinte dolazi u komoru.



Slika 3. Princip *bubble jet* i piezoelektičnog *inkjet* ispisa

Izvor: Mikota M., Studija digitalne portretne fotografije

Piezoelektrični *Inkjet*

Piezoelektrični *inkjet* ispis temelji se na svojstvu materijala da se, dovođenjem električnog impulsa, deformiraju te da se prestankom djelovanja impulsa vraćaju u početno stanje. Tinta se dovodi u komoru sa piezo elementom iz spremnika, koji djelovanjem električnog impulsa počinje titrati i stvara povećani pritisak u komori sa tintom. Povećanjem tlaka u komori, tinta se u kapljicama istiskuje kroz mlaznicu i izlazi na podlogu za ispis.

Obje vrste pisača najčešće su formata A4, iako postoje u veličinama za ispis do formata razglednice (najčešće prijenosni, spajaju se izravno na fotoaparat) te A3 i većih formata za zahtjevnije ispise.

2.3. KOLORANTI

Supstance koje mijenjaju postojeću boju ili daju boju inače bezbojnom subjektu nazivaju se koloranti. U tradicionalnom smislu ovaj opis odnosi se na bojila (eng. *dyes*) i pigmente (eng. *pigments*) koji su se dodavali u tkanine, nanosili na drvo i metal uz pomoć veziva ili koristili kao sredstvo za obojenje plastike dodavanjem u plastičnu masu kako bi se promijenila njena izvorna boja. Kromatski koloranti odlikuju se selektivnom apsorpcijom i disperzijom svjetla, a akromatski koloranti (crna i nijanse sive) spektralno su neselektivni i apsorbiraju svjetlost. Bijela boja u potpunosti dispergira svjetlost.^[5]

2.3.1. Bojila (*Dyes*)

Bojilo je kromatska supstanca koja ima afinitet prema podlozi na koju se nanosi i najčešće se nalazi u obliku vodene otopine. Bojilo percipiramo u nekoj boji zbog svojstva selektivne apsorpcije, što znači da neke valne duljine apsorbira bolje nego druge. Iako su kroz velik dio povijesti prirodna bojila bili glavni koloranti, u današnje vrijeme koriste se gotovo isključivo sintetička ili umjetna bojila. Zbog svoje niske cijene, širokog raspona boja i povoljnih svojstava, bojila su pronašla primjenu u gotovo svim industrijama.^[6]



Slika 4. Razlika između bojila i pigmenta

Izvor: www.dyes-pigments.com/prd/colorants-for-printing-inks.jpg

Bojila za *inkjet* pisače dobivaju se miješanjem otopine koloranta (*dye*) sa tekućim nosiocem boje, što ju čini jednostavnom za primjenu i nanošenje. Ispisivanjem na papir bojilo se ravnomjerno apsorbira tako da jednoliko reflektira svjetlost. Kod *inkjet* pisača najčešće se koriste boje bazirane na kiselinama (eng. *acid dyes*), direktne boje (eng. *direct dyes*) i reaktivne boje (eng. *reactive dyes*.)

Inkjet pisač koristi poseban proces kako bi se bojilo kvalitetno nanijelo na površinu i time se produžila trajnost otiska. Bojila za *inkjet* pisače najčešće su anioni, dok su tvari koje se koriste kao fiksatori pozitivnog naboja, odnosno kationi.^[7]

Prednosti bojila:

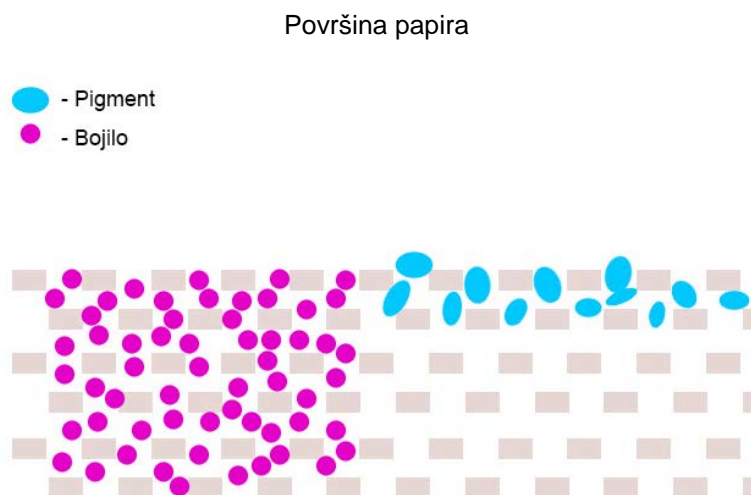
- Stabilnost i topivost
- Širok spektar boja i nijansi
- Intenzivne boje
- Brojni proizvođači
- Apsorbira se u sredstvo
- Kompatibilni sa gotovo svim materijalima

Mane bojila:

- Slaba otpornost na djelovanje svjetla
- Tanji nanos bojila
- Mogućnost razlijevanja kod manje upojnih podloga
- Mogućnost deformiranja (vlaženja) jako upojnih podloga
- Slaba otpornost na djelovanje vode

2.3.2. Pigmenti

Pigment je tvar koja mijenja boju reflektiranog ili transmitiranog svjetla kao rezultat selektivne apsorpcije valnih duljina. Većina pigmenata korištena u industriji su suhi koloranti mljeveni u prah. Pigment u prahu dodaje se u vezivo koje je neutralna, bezbojna tvar te ima funkciju nošenja pigmenta, omogućava njegovo prianjanje te služi kao sredstvo unutar kojeg pigment dispergira. Pigment je netopiv, što znači da ne nestaje unutar sredstva, a njegove čestice ostaju iste veličine, oko 1-2 μm i moguće ih je vidjeti pod mikroskopom.



Slika 5. Razlika u prianjanju bojila i pigmenta

Izvor: cpn.canon-europe.com/files/education/technical/pixma_pro_printers/caption_004.jpg

Pigmenti su uglavnom anorganske tvari, tvore boje nešto slabijeg intenziteta nego bojila, dobro pokrivaju površinu i vrlo su otporni na toplinu, vremenske uvjete i razlijevanje.^[8]

Prednosti pigmenata:

- Velika otpornost na vremenske uvjete
- Velika otpornost na svjetlost
- Oštrina otiska
- Pokrivnost površine

Mane pigmenata:

- Ograničen spektar boja
- Boje smanjenog intenziteta
- Manje dostupne
- Mogu sadržavati štetne tvari

Pigmenti i bojila pri otiskivanju mogu se miješati, ali zbog veličine čestica i različitih svojstava bojila će se apsorbirati u podlogu, dok će pigmenti ostati na površini. Otisak zbog toga može izgledati tamnije, imati neravnu površinu i neravnomjerno blijedjeti prilikom izlaganja svjetlu.

Tinta za *inkjet* pisače ima udio koloranata 5-20%, dok ostatak čine razni dodaci. Izbor veziva ovisi o izboru koloranta, jer mogu biti bazirani na organskim otapalima ili kombinaciji vode i otapala, a različitim aditivima u tinti se poboljšava vezanje koloranata za podlogu, regulira viskoznost, povećava svjetlostabilnost i definira pH.

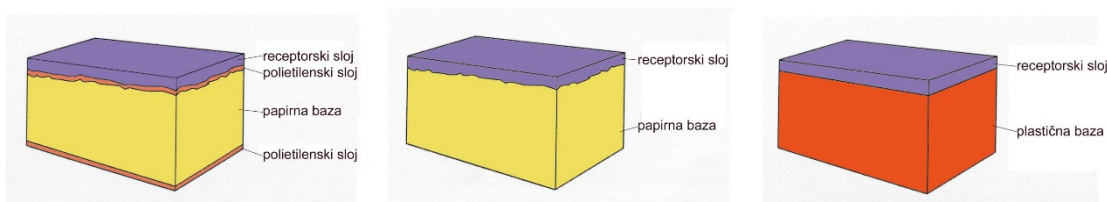
Tipična veličina čestica iznosi oko 1/20 promjera sapnice *inkjet* pisača. Molekule tinte na bazi bojila manje su od molekula pigmenata što znači da se mogu koristiti sapnice manjeg promjera, a samim time će ispis biti manjim kapljicama, precizniji i oštiji.

2.4. FOTOPAPIRI

Razvojem tehnologije i prijelazom analogne fotografije u digitalnu, promijenili su se i mediji za ispis fotografija. Do pojave digitalnih fotoaparata krajem 20. stoljeća, fotografije su se razvijale na klasičnim fotopapirima osjetljivim na svjetlost u posebnim tamnim komorama, fotostudijima i ateljeima.

Digitalni fotoaparati, računala i vrhunski pisači omogućili su ispis fotografija bez fotostudija i skupe opreme. Papiri namijenjeni ovakvom ispisu nisu osjetljivi na svjetlost, drugačijeg su kemijskog sastava, ali svojim izgledom, veličinom i kvalitetom nastoje u potpunosti imitirati klasične fotopapire.^[9]

Inkjet fotopapiri najraznolikiji su i najkompleksniji od svih digitalnih fotopapira, prilagođeni su *inkjet* pisačima koji koriste tekuće tinte i bojilo nanose na površinu u sitnim kapljicama. Ovaj proces istovjetan je za sve pisače, ali kako različiti pisači koriste različite kolorante (bojila ili pigmente), odabir papira mora biti odgovarajući. Pri ispisu digitalnih fotografija koriste se podloge koje mogu biti RC (eng. *resin coated*) podloge, papirne ili plastične podloge, a premazane su posebnim receptorskim slojem. Za vrhnske ispise fotografija koriste se bubrivi premazani papiri (eng. *swellable inkjet coated paper*) i porozni *inkjet* premazani papiri (eng. *porous inkjet coated paper*).

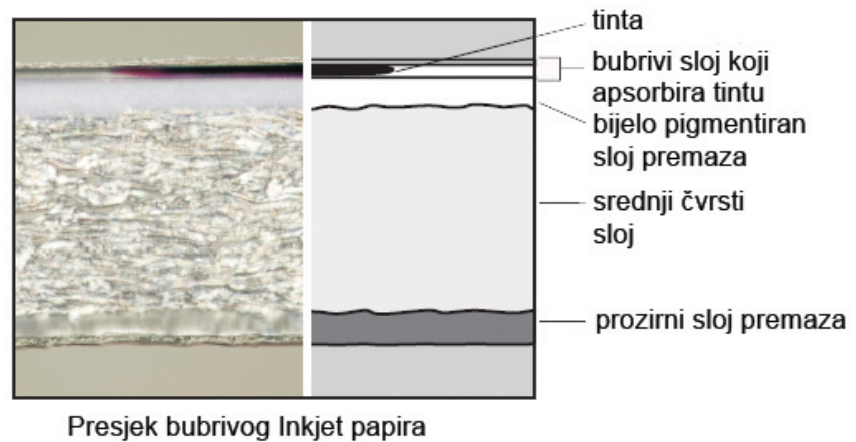


Slika 6. Podloge za *inkjet* ispis fotografija

Izvor: Mikota M., Studija digitalne portretne fotografije

2.4.1. Bubrivi *Inkjet* premazani papir

Bubrivi *inkjet* fotopapiri prepoznatljivi su po svom površinskom sloju koji bubri i apsorbira tintu koju nanosi pisač. Ovi papiri mogu se koristiti samo sa tintama na bazi bojila, pigmentne tinte se zbog veličine čestica pigmentata ne mogu apsorbirati.



Slika 7. Bubrivi fotopapir

Izvor: www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/310

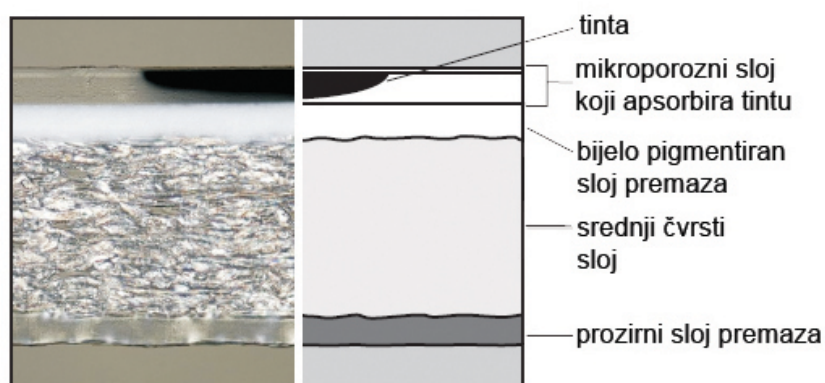
Prednost ovakvih fotopapira jest da mogu postići puno sjajniju površinu od poroznih fotopapira, a bubrenjem površine se zaštićuje apsorbirana tinta od blijedenja i mehaničkih oštećenja. Negativna strana bubrivih papira je da sušenje otiska može trajati od svega par minuta do nekoliko sati, što može dovesti do razmazivanja i razlijevanja otisnute tinte.

2.4.2. Porozni *Inkjet* premazani papiri

Porozni papiri na svojoj površini imaju sloj premaza sa mikroskopskim porama koje upijaju tintu prilikom ispisa. Površinski sloj svakog proznog papira sadrži tanki nanos mineralnih čestica rapršenih u polimernom vezivu koje ih pričvršćuje za površinu papira.

Ovisno o procesu izrade površinskog sloja i veličini pora, oni mogu biti makroporozni, mikroporozni i nanoporozni. Glavna prednost papira sa nanoporama je veći sjaj površine, detalji i oštrina prilikom ispisa, međutim zbog složenog procesa izrade rijetko se koristi.

Nanošenjem tinte prilikom ispisa dolazi do apsorbiranja bojila u dublje slojeve pora što uzrokuje trenutno sušenje otiska. Zbog svoje površinske teksture mogu se koristiti i sa pigmentnim i dye tintama, iako će i kod nanoporoznih papira efekt sjaja biti manji nego kod bubrivih fotopapira i klasičnih fotografskih papira.^[10]



Presjek poroznog Inkjet papira

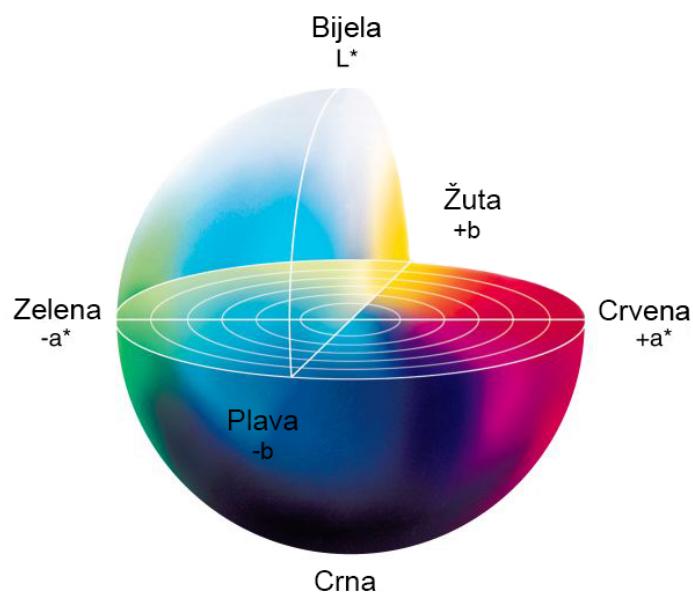
Slika 8. Porozni fotografski papir

Izvor: www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/310

2.5. CIELAB SUSTAV BOJA

CIELAB je najpotpuniji sustav boja prihvaćen od strane francuske Međunarodne komisije za rasvjetu. Zamišljen je kao sustav neovisan o uređaju kojim se mjere, promatraju i prikazuju boje, a sadržava i opisuje sve boje vidljive ljudskom oku. Baziran je na percepciji boje standardnog promatrača i njegove koordinate odgovaraju teoriji suprotnih boja, tj. parova.

CIELAB sustav sadrži tri koordinate. Os z je akromatska i prikazuje vrijednost svjetline L^* (*luminance*) od 0 do 100, gdje je 0 vrijednost za crnu, a 100 za bijelu. Osi x i y su kromatske i prikazuju položaj između zelene i purpurne boje ($-a^*$ do a^*) i plave i žute boje ($-b^*$ do b^*).^[11]



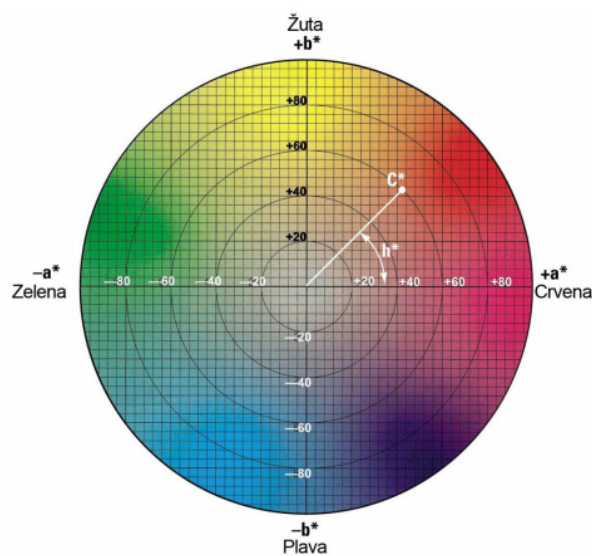
Slika 9. CIELAB sustav

Izvor: colorbrate.co.za/wp/wp-content/uploads/2013/07/kompozice7_space-cieLAB.jpg

Ovaj sustav je trodimenzionalan, tako da se točno može prikazati samo u trodimenzionalnom obliku, dok dvodimenzionalni prikazi uključuju a^* i b^* koordinate i fiksnu vrijednost L^* svjetline.

Vizualni prikaz takvog spektra boja u ovom sustavu nikada nije u potpunosti točan te služi samo za razumijevanje principa na kojem funkcionira.

RGB i CMYK sustavi najčešće su korišteni kod digitalnog prikaza boja, odnosno kod grafičkog otiskivanja na podlogu. Vezani su za uređaj ili medij i nije ih moguće izravno konvertirati u univerzalan sustav kao što je CIELAB. Za pretvorbu potrebno je prenijeti ih u apsolutni sustav boja (kao sRGB ili Adobe RGB), a tek zatim povezati sa CIELAB sustavom i dobiti točne vrijednosti.



Slika 10. Presjek CIELAB sustava

Izvor: fotoprocеси.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf

Računalni programi prepoznali su univerzalnost i primjenjivost ovog sustava te se pojavljuje i koristi u računalnim programima Adobe, ICC profilima te TIFF i PDF datotekama.^[12]

2.5.1. Razlika boje

Ukupna razlika boja ili kolorimetrijska razlika (ΔE^*) predstavlja razliku između dvije boje u CIE sustavu. Definira se kao euklidska razlika između koordinata za dva položaja boja, referentnog i uspoređivanog.^[13]

Ukupna razlika u boji prema CIE 1976 (ΔE^*_{ab}) (2) izračunava se sljedećom formulom:

$$\Delta E^*_{ab} = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

gdje su:

$$\Delta L^* = L^* - L^*_{ref},$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_{ref},$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_{ref},$$

Tijekom vremena su primijećeni nedostaci fomule za ΔE^*_{ab} . Kolorimetrijske razlike računane prema toj formuli ne koreliraju dovoljno sa vizualnim procjenama. Kako bi se poboljšala korelacija između vizualnih procjena i instrumentalnog mjerenja, 1994. godine predložena je izmijenjena formula pod nazivom CIE ΔE_{1994} (ΔE^*_{94}). Ta formula prilagođava vrijednosti svjetline, zasićenja i tona tako što uzima u obzir faktore k i S , koji ispravljaju varijacije u percipiranoj veličini razlika boja u različitim područjima CIELAB prostora boja.

Zadnja revidirana formula za razliku u boji je CIE ΔE_{2000} , koja osim svjetline, zasićenja i tona, uključuje različitosti između zasićenja i tona, zbog poboljšanja

prikazivanja boja u plavom dijelu spektra, kao i faktor povećanja vrijednosti a^* , koji utječe na poboljšanje sivih boja. [14]

Ukupna razlika boja prema ΔE^*_{00} (3) definirana je matematičkim izrazom:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)} \quad (3)$$

pri tome vrijedi:

- korekcija svjetlosti (4):

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

b = uzorak (batch), s = standard

$$L' = L^*$$

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

$$L'm = (L'b + L's)/2 \quad (4)$$

- korekcija krome (5):

$$\Delta C' = C'_b - C'_s,$$

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

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

$$G = 0.5\{1 - [(C^*_m)^7 / (C^*_m)^7 + 25^7]\}^{1/2}$$

$$C^*_m = (C'_s + C'_b)/2 \quad (5)$$

- korekcija tona boje (6):

$$\Delta H' = 2(C'_b - C'_s)^{1/2} \sin(\Delta h'/2)$$

$$\Delta h' = h'_b - h'_s$$

$$h' = \arctan(b'/a') ,$$

kut h' je izražen u stupnjevima od $0^\circ - 360^\circ$

$$S_H = 1 + 0.015C'_m T$$

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

$$h'_m = (h'_s + h'_b)/2 \quad (6)$$

– korekcija orijentacije elipsa u plavom području (7):

$$R_T = -\sin(2\Delta\Theta)R_C$$

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

$$R_C = 2[C'_m{}^7 / (C'_m{}^7 + 25^7)]^{1/2} \quad (7)$$

Definiranje upotrebe pojedinih formula za određivanje razlika u perceptualno uniformnim prostorima do danas nije dovršeno, što potvrđuje niz istraživanja koja ukazuju na nedostatke i daju prijedloge daljnjih izmjena. Za izračunavanje kolorimetrijske razlike boja u ovom radu, koristio se izraz CIE ΔE_{2000} (ΔE^*_{00}). Formula za izračunavanje primjenjivala se u Microsoft Excel-u.

Kriteriji koji pokazuju koliko su velike razlike u boji su sljedeći:

Tablica 2. Uočljivost razlika uzoraka prema CIE ΔE_{2000} ^[15]

ΔE^*_{00}	Opis
< 0,2	Razlika nije uočljiva,
< 0,5	Zanemariva razlika (preciznost instrumenta)
0,5 - 1	Jedva primjetna, vrlo mala razlika
1 - 3	Vidljiva, mala razlika
3 - 6	Dobro vidljiva, očita razlika
6 - 12	Vrlo dobro vidljiva, iznimno velika razlika
> 12	Nedopustiva razlika

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Korišteni materijali i uređaji

Kao uzorak za ispisivanje odabrano je osam polja od 24 GretagMacbeth-ovog Color Checkera i to polja sa crvenom (R), zelenom (G), plavom (B), plavozelenom (C), purpurnom (Mg), žutom (Y) i dvije boje kože, svjetlijom (K₁) i tamnijom (K₂).

Uzorci su bili ispisani na 4 vrste poroznog *inkjet* fotopapira. Acme, PaperJet i Print Rite su generički papiri nižeg cjenovnog ranga, dok je Canon fotopapir veće kvalitete i predviđen za uporabu sa Canon pisačima. Svi odabrani papiri bili su gramature od 170-180 g/m², sjajne površine (eng. *glossy*) i veličine A6.



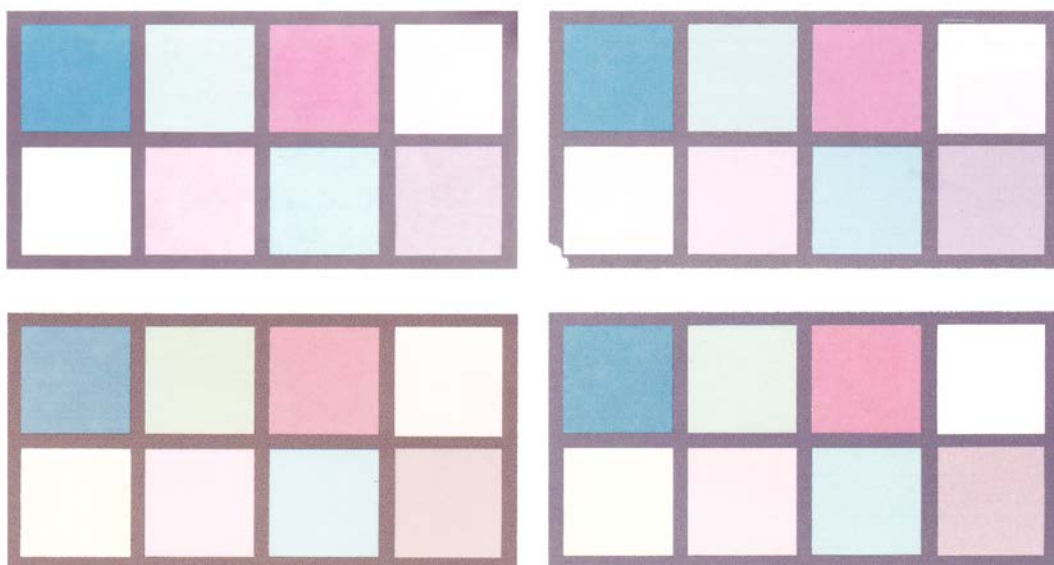
Slika 11. Odabrana polja Color Checkera

Upotrebom dva različita pisača, Canon iP4000 i Canon Pixma MG 5350 ispisano je ukupno osam uzoraka. Oba korištena pisača vrše ispisivanje *bubble jet* tehnikom. Pisač iP4000 sadržavao je zamjenske tinte neovisnog proizvođača bazirane na *dye* bojilu, a u pisaču MG 5350 nalazile su se originalne *dye* tinte Canon CLI-526 u bojama *cyan*, *magenta* i *yellow*, sa crnom tintom na bazi pigmenta PGI-525.

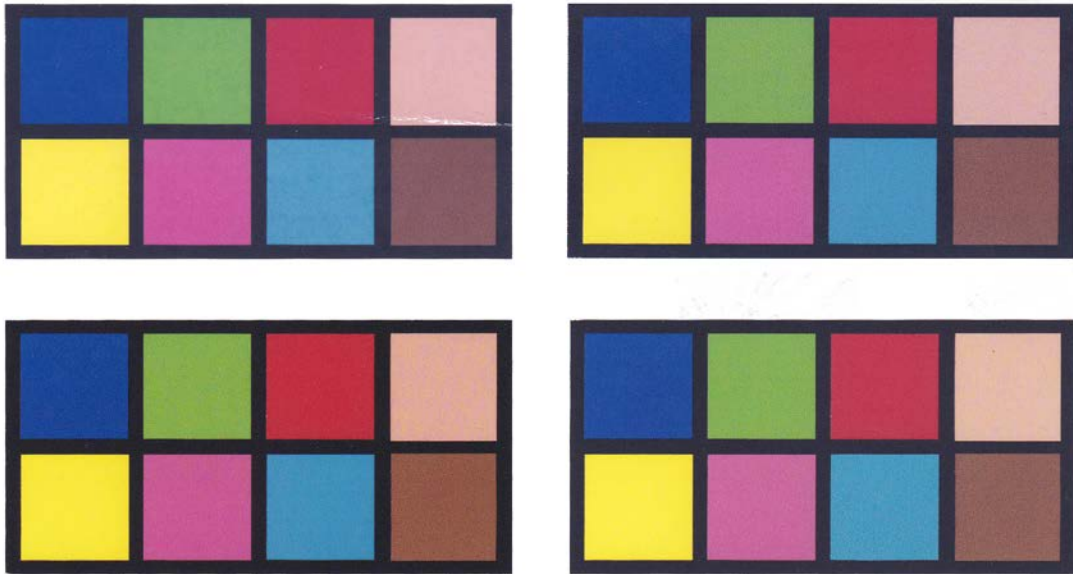
Nakon ispisa svih osam uzoraka, polja sa bojama izmjerena su spektrofotometrom GretagMacbeth Spectrolinom, geometrije mjerenja 45°/0° sa otvorom promjera 4mm. Kolorimetrijski parametri, L^* , a^* , b^* , C^* , izračunati su pod standardnom D50 vrstom rasvjete uz 2° standardni promatrač. Uzorci su potom podvrgnuti izlaganju svjetla u komori za starenje Solarbox 1500e (CO.FO.ME.GRA) na 146 sati, što je ekvivalent izloženosti sunčevim zrakama od oko 5 mjeseci. Nakon starenja u komori, uzorci su ponovo izmjereni spektrofotometrom za iste vrijednosti L^* , a^* , b^* i C^* .

3.2. Rezultati i rasprava

Vrijednosti uzoraka ispisanih na iP4000 pisaču znatno su se razlikovale od početnog, dok su uzorci na MG pisaču blago izbledjeli. Razlika u bojama ovisno o podlozi vidjiva je tek kod uzoraka ispisanih na MG pisaču, različitosti uzoraka ispisanim na podlogama pomoću iP pisača bilo je moguće uspoređivati tek uz pomoć spektrofotometra zbog značajne promjene i blijeđenja boja.



Slika 12. iP uzorci, s lijeva na desno Acme, Print Rite, Canon, PaperJet



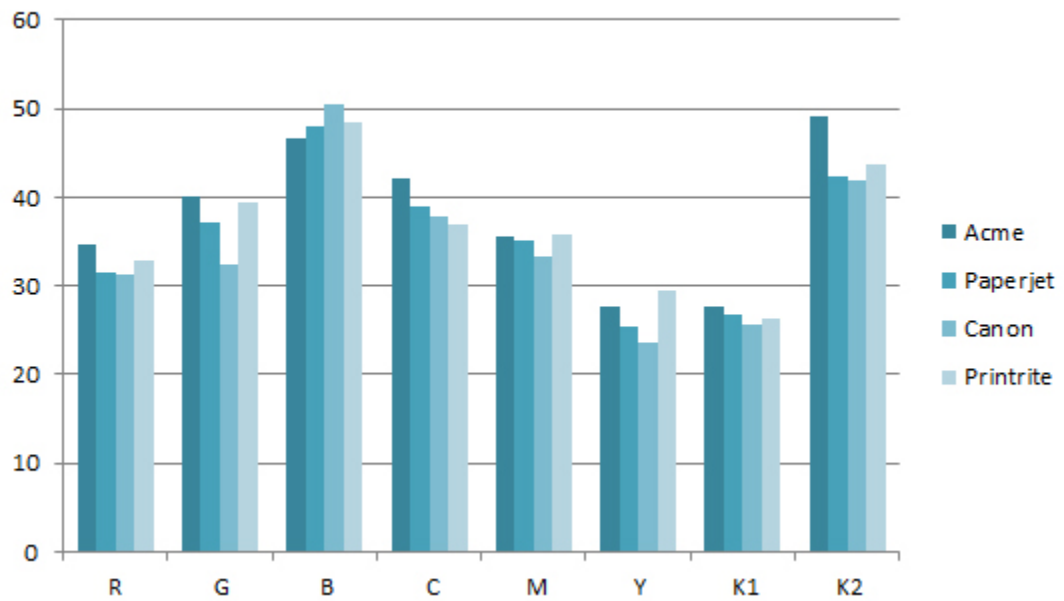
Slika 13. MG uzorci, s lijeva na desno Acme, Print Rite, Canon, PaperJet

Samim promatranjem MG uzoraka moguće je zaključiti kako je Canon fotopapir u kombinaciji sa Canon originalnom tintom (pigment i *dye*) najbolje zadržao svojstva boje.

Relativno najveća razlika primjećena je kod plave boje i tamne boje kože kod iP pisača, čiji CIE ΔE_{2000} iznosi preko 40. Usporedbom sa ASTM i *Blue wool* skalom, tintu korištenu u iP pisaču možemo svrstati u kategoriju ASTM V, odnosno kategorija 1 *Blue wool* ljestvice što je iznimno loša svjetlostabilnost. Usporedbom sa CIE ΔE_{2000} tablicom, svi iP uzorci klasificirani su kao uzorci sa nedopustivom razlikom.

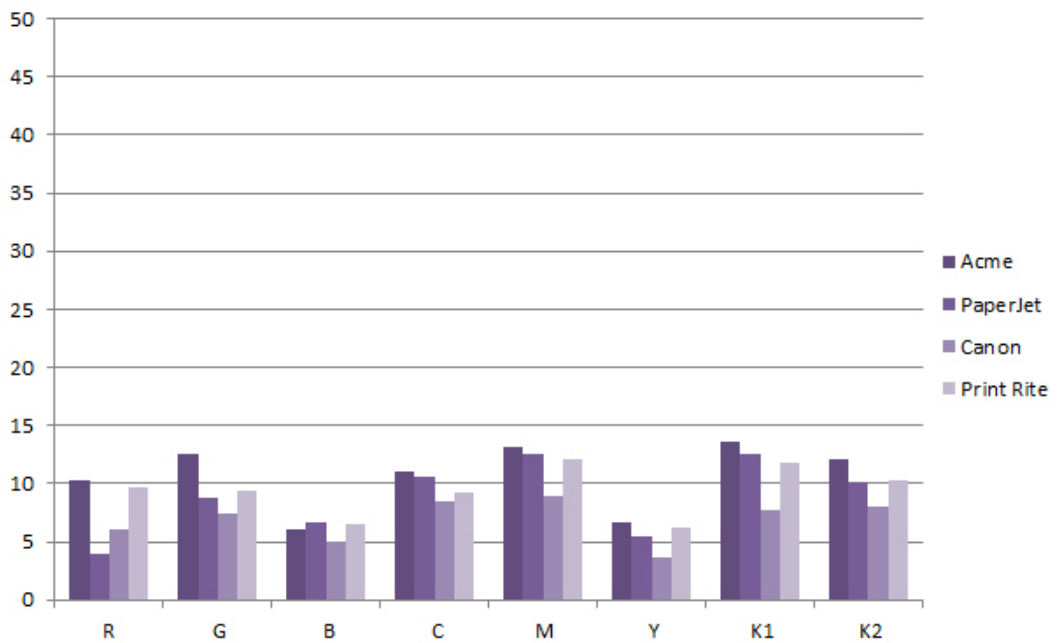
Relativno najmanje razlike primjećene su kod žute boje i svijetle boje kože kod oba ispisa, međutim zbog niske početne vrijednosti svjetline, nije moguće sa sigurnošću odrediti koliko je na malu promjenu utjecala tinta, podloga ili početne karakteristike ovih boja.

CIEDE2000



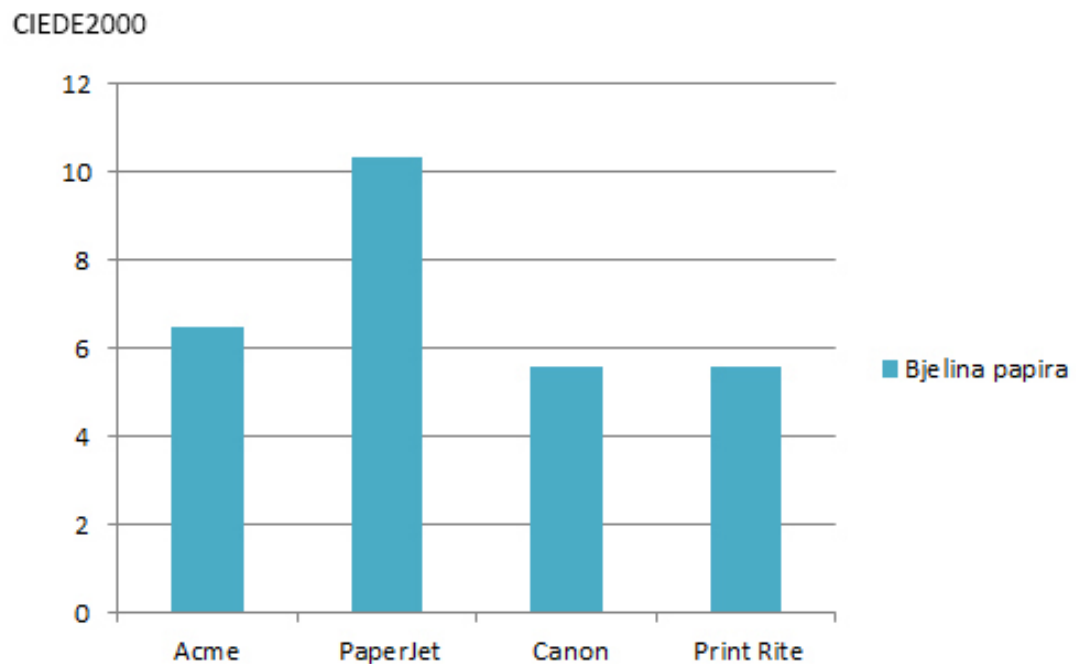
Grafikon 1. Vrijednosti CIE ΔE_{2000} za uzorke ispisane na iP pisaču

CIEDE2000



Grafikon 2. Vrijednosti CIE ΔE_{2000} za uzorke ispisane na MG pisaču

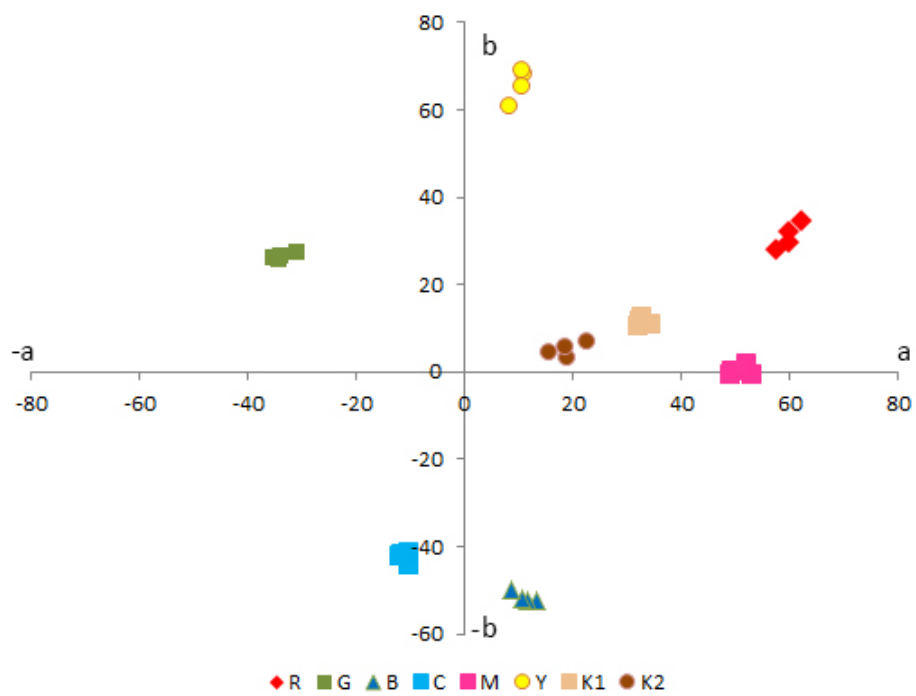
Prema vrijednostima u grafikonima 1 i 2 zaključeno je kako su svi ispisi iP pisača izvan dozvoljenih granica prema kriteriju za ukupnu dozvoljenu razliku u boji. Uzorci MG pisača variraju od minimalne razlike od oko 4 kod žute boje do maksimalne razlike od 13,5 kod svjetlije boje kože K₁, što znači da su, ovisno o boji i papiru, razlike od malih, vidljivih do iznimno velikih.



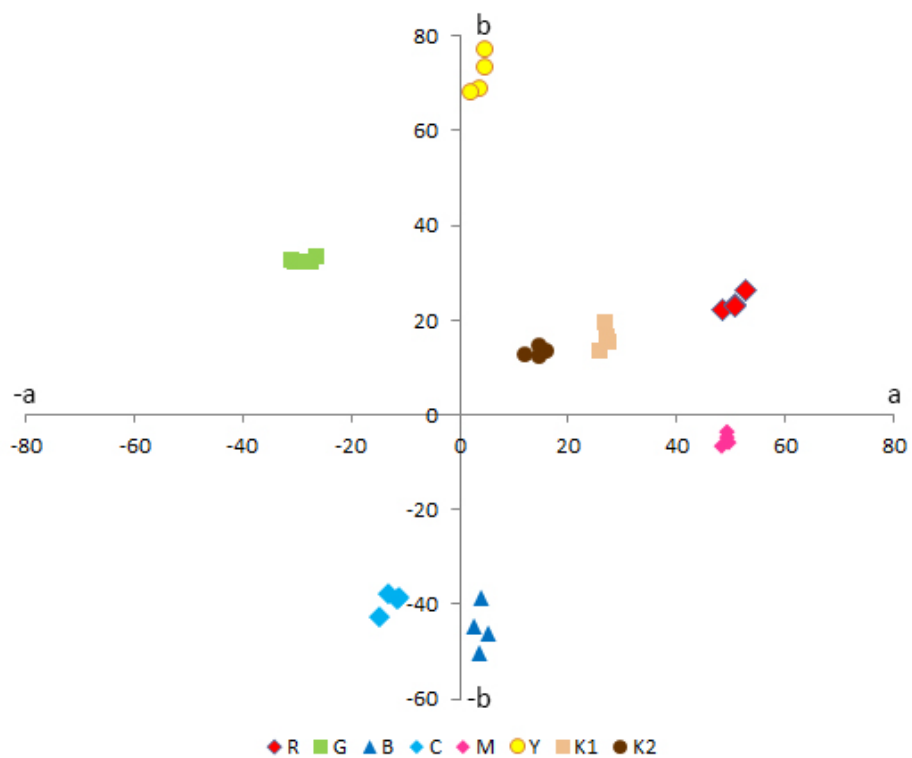
Grafikon 3. Vrijednosti CIE ΔE2000 papira prije i nakon starenja uzoraka

Canon i Print Rite fotopapiri najbolje su zadržali boju podloge koju su imali prije ispisa uzoraka. Svi papiri su posvjtlili, promjene su velike i vrlo vidljive, međutim zbog prirode promatranog uzorka, odnosno posvjtljivanja neotisnutih površina, promjena nije imala negativan utjecaj na svjetlostabilnost ukupnog otiska.

Uspoređivanjem uzoraka oba pisača prije starenja primjećuju se mala odstupanja u početnim vrijednostima. Svi iP uzorci uglavnom imaju veću početnu vrijednost svjetline, pa se tako i u CIELAB prostoru nalaze bliže ishodištu koordinatnih osi a^* i b^* .

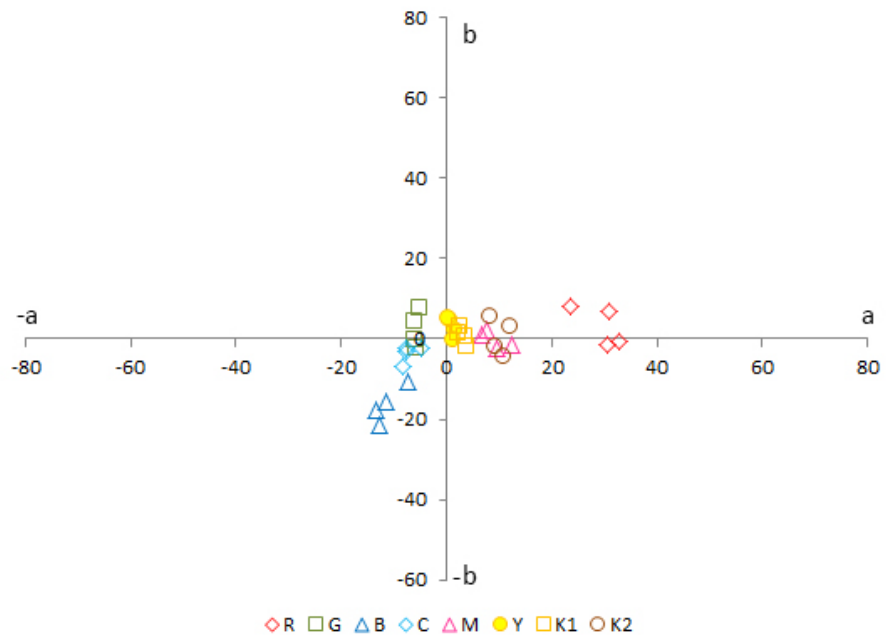


Grafikon 4. CIELAB vrijednosti iP pisača prije starenja

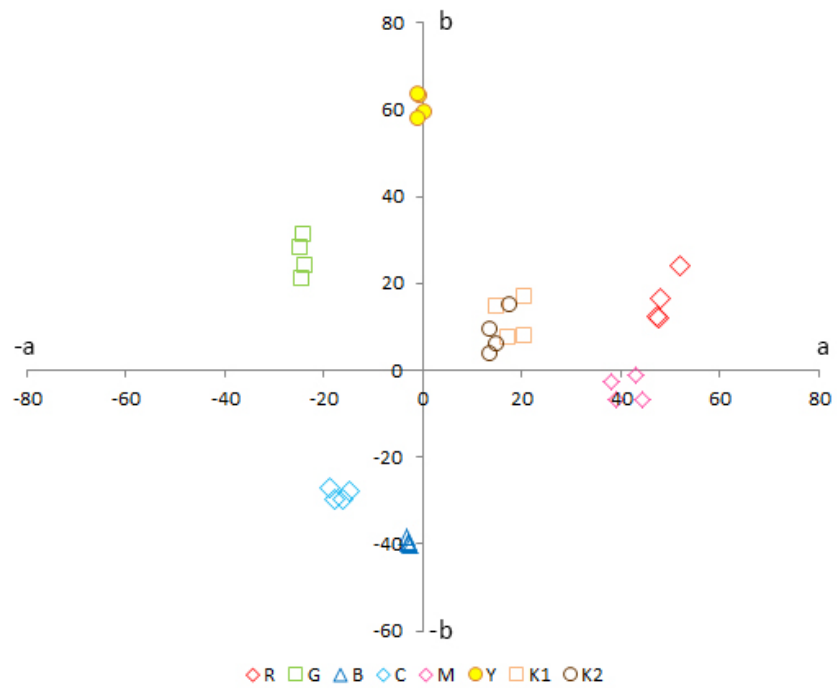


Grafikon 5. CIELAB vrijednosti MG pisača prije starenja

Uzorci nakon procesa starenja izmjereni su ponovo i ucrtani u CIELAB sustav.



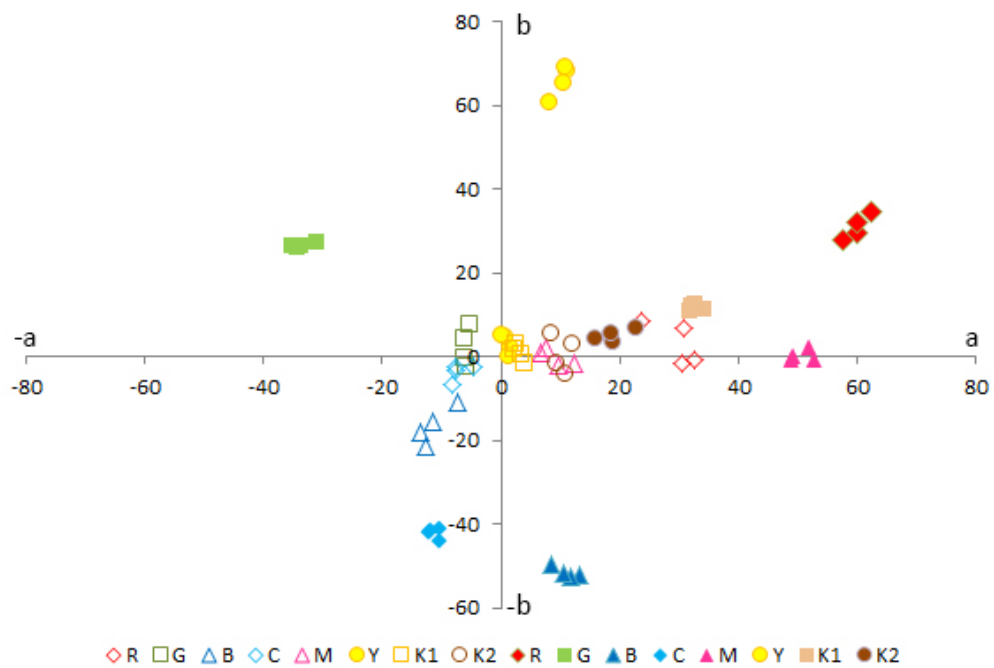
Grafikon 6. CIELAB vrijednosti iP pisača nakon starenja



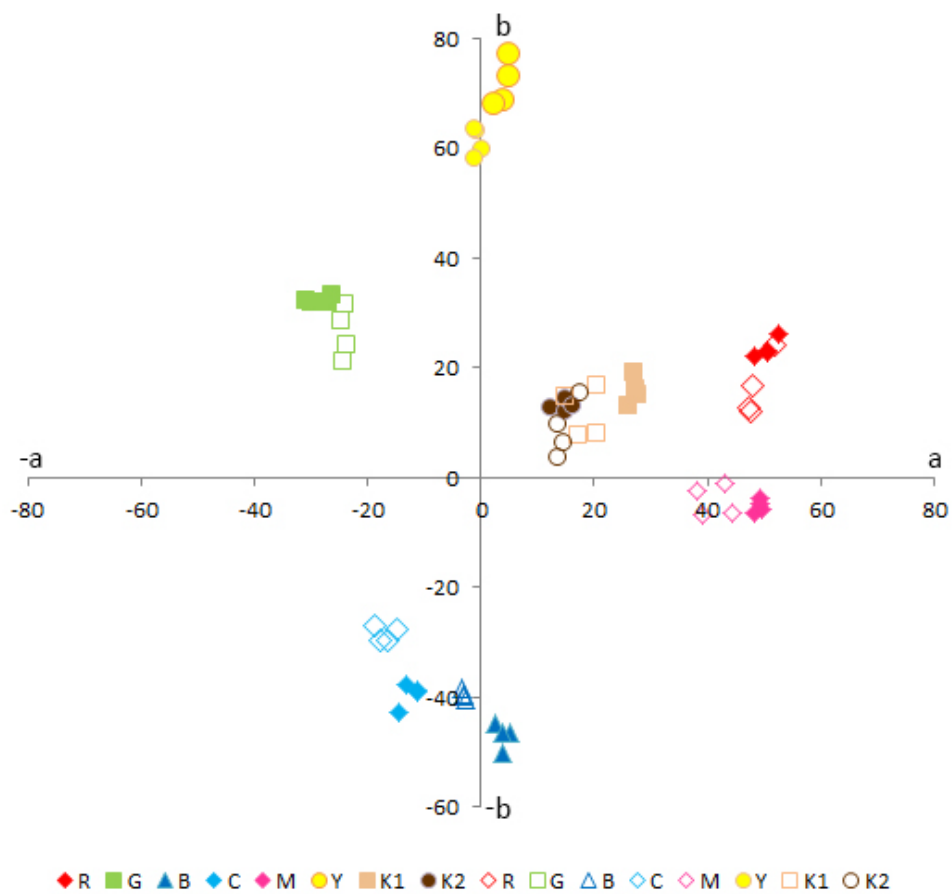
Grafikon 7. CIELAB vrijednosti MG pisača nakon starenja

Grafičkim prikazom iP uzoraka nakon starenja (Grafikon 6) prikazan je značajan pomak uzoraka prema ishodištu koordinatnog sustava, dok su boje poput žute i svijetle boje kože gotovo potpuno u središtu. Pomak se primjećuje i kod MG uzoraka (Grafikon 7), međutim pad u vrijednostima je manje značajan.

Komparativni prikaz iP i MG uzoraka prije i poslije starenja pokazuje položaj pojedinih boja u CIELAB sustavu. Uzorci boja prije starenja označeni su punim znakovima, dok su uzorci nakon starenja označeni praznima.

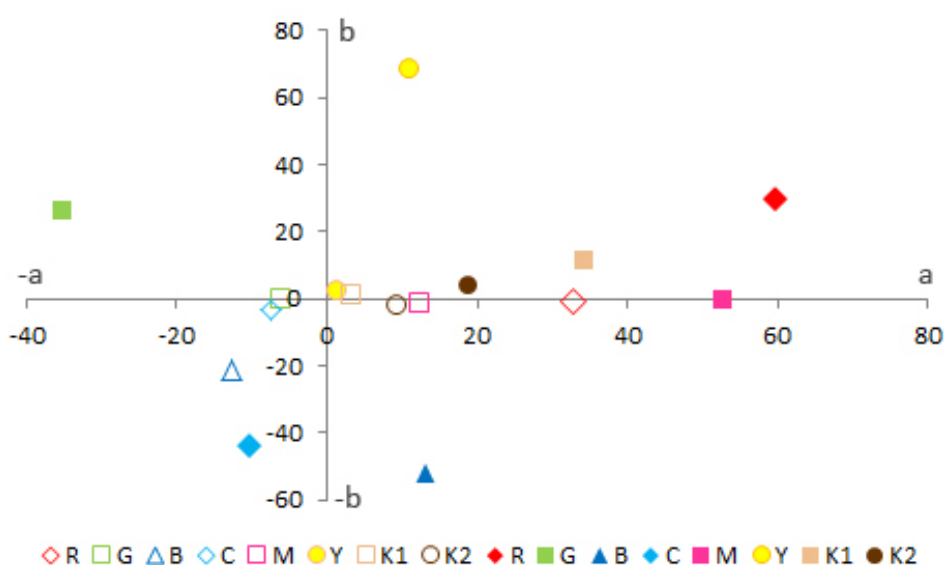


Grafikon 8. CIELAB usporedba uzoraka iP pisača prije i nakon starenja

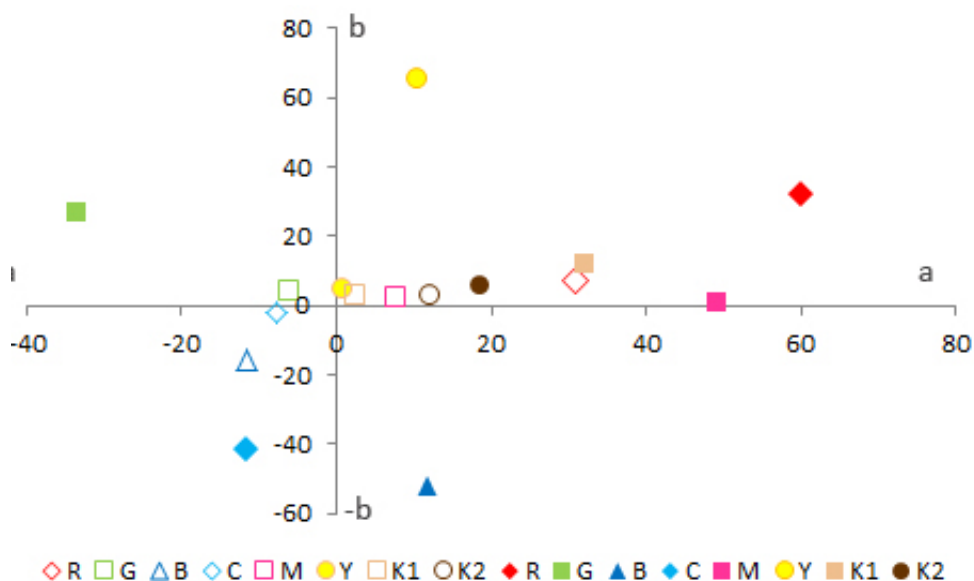


Grafikon 9. CIELAB usporedba uzoraka MG pisača prije i nakon starenja

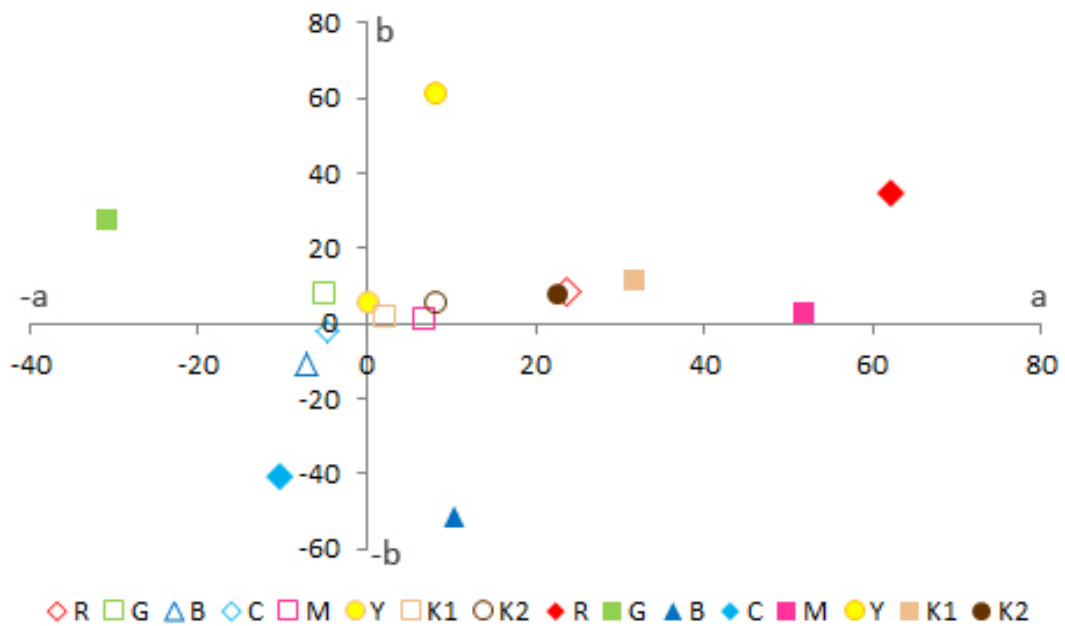
Podjelom vrijednosti dobivenih na iP uzorcima prema vrsti papira, moguće je zaključiti kako, u ovom slučaju, podloga na koju su se ispisivali uzorci nije imala značajnijeg utjecaja u očuvanju kolorimetrijskih vrijednosti. Najkvalitetniji papir preporučen od strane proizvođača pisača, fotopapir marke Canon, jednako je loše zadržavao ispisane boje, kao i generički papiri koji su, obzirom na cijenu na tržištu, bili gotovo trostruko jeftiniji.



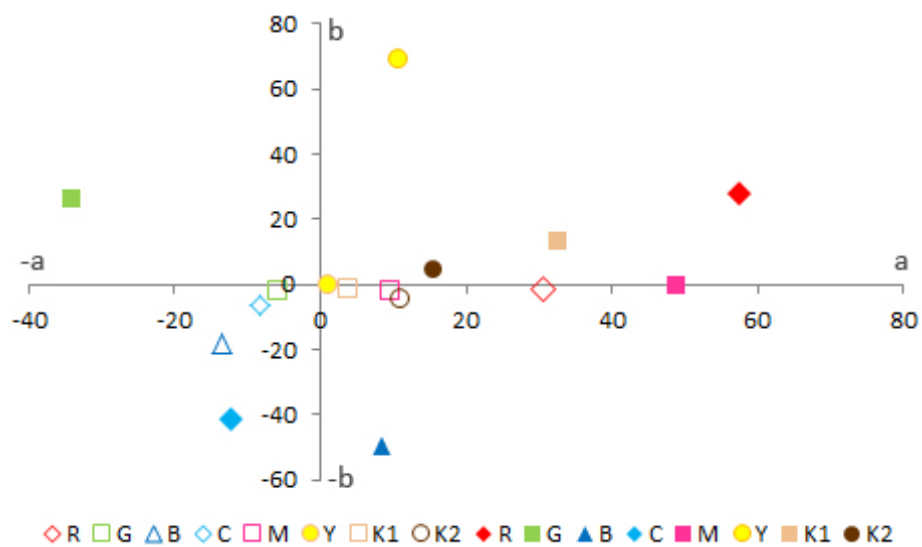
Grafikon 10. CIELAB usporedba Acme papira iP pisača prije i nakon starenja



Grafikon 11. CIELAB usporedba PaperJet papira iP pisača prije i nakon starenja



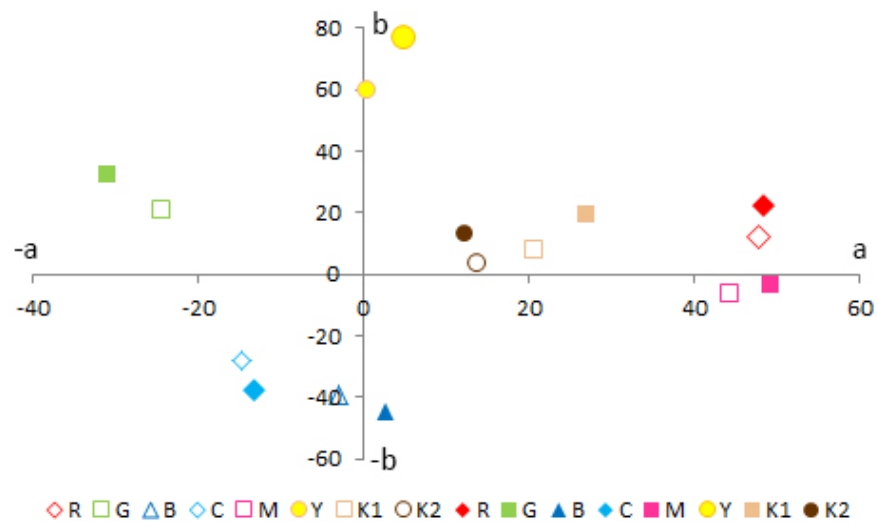
Grafikon 12. CIELAB usporedba Canon papira iP pisača prije i nakon starenja



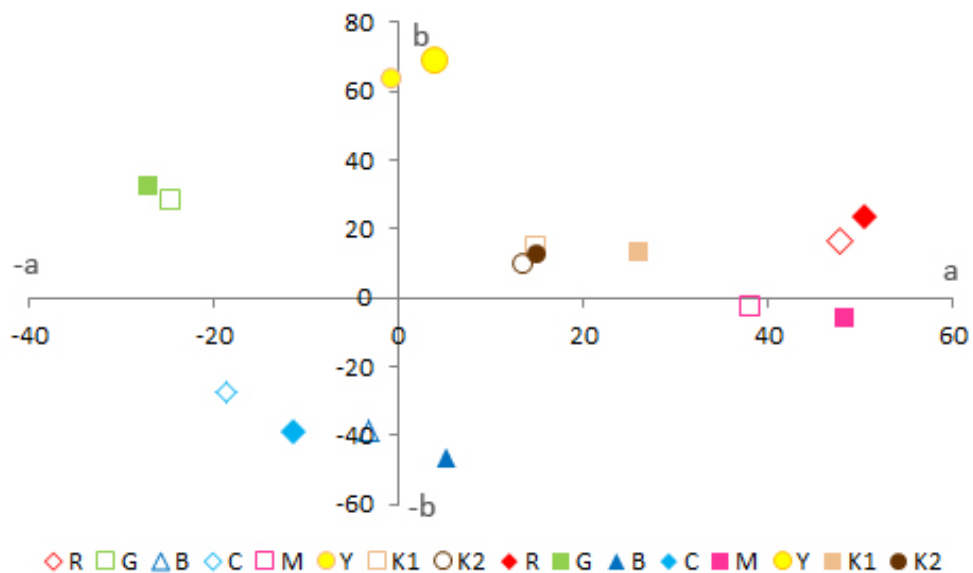
Grafikon 13. CIELAB usporedba Print Rite papira iP pisača prije i nakon starenja

Svaki papir imao je nedopustivo odstupanje od svojih početnih vrijednosti, a subjektivnom metodom promatranja kod pojedinih uzoraka, bez prethodne usporedbe sa neoštećenim referentnim uzorkom, nije bilo moguće prepoznati određene boje.

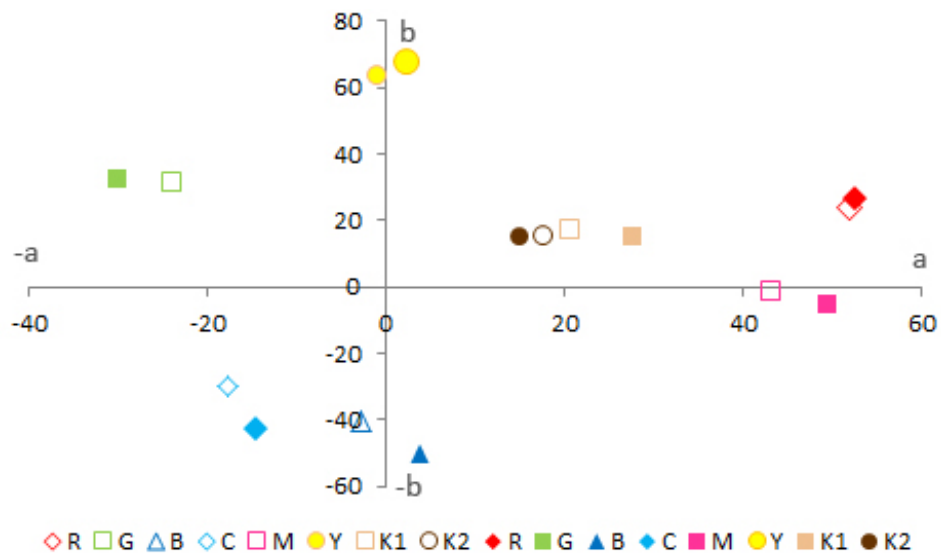
Svi ispisani MG uzorci, neovisno o papiru, pokazali su bolje rezultate. Subjektivnom metodom usporedbe primjećuje se razlika između uzoraka prije i poslije starenja, kod svih boja dobro je vidljiva i očita.



Grafikon 14. CIELAB usporedba Acme papira MG pisača prije i nakon starenja

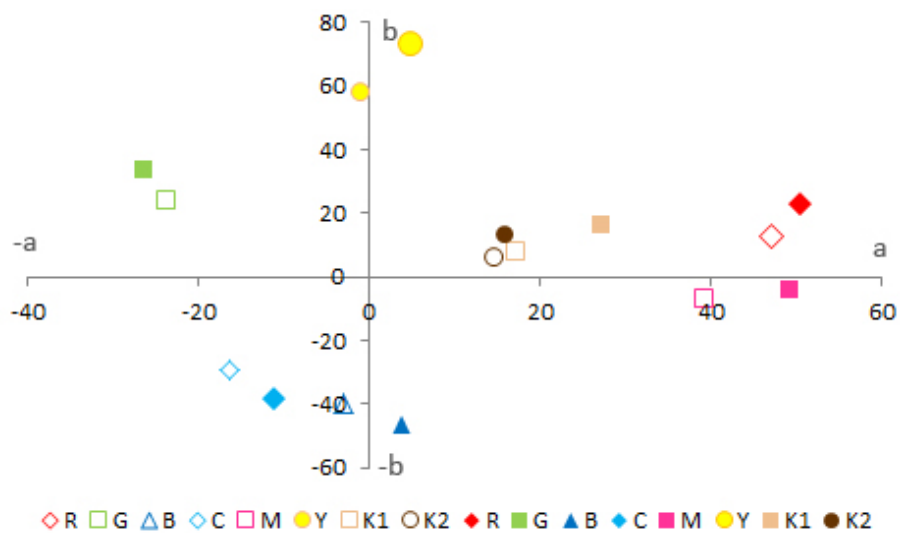


Grafikon 15. CIELAB usporedba PaperJet papira MG pisača prije i nakon starenja



Grafikon 16. CIELAB usporedba Canon papira MG pisača prije i nakon starenja

Promatranjem grafičkog prikaza u CIELAB sustavu, Canon fotopapir pokazuje relativno najbolju postojanost boje i najmanje odstupanje od početnih uzoraka.

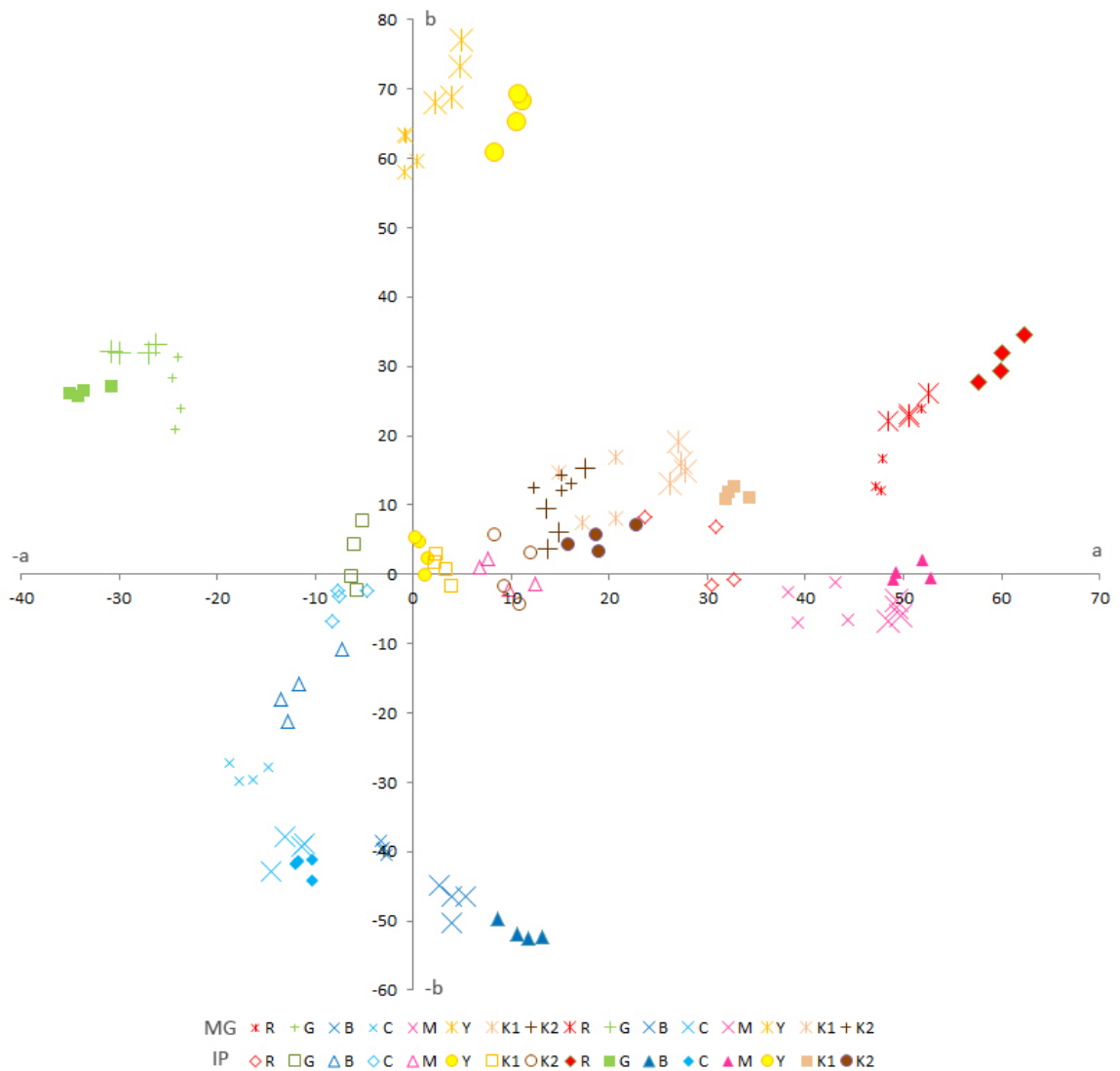


Grafikon 17. CIELAB usporedba Print Rite papira MG pisača prije i nakon starenja

Sve četiri podloge najteže su zadržale postojanost purpurne, plavozelene i svijetle boje kože, dok su se crvena, žuta i plava pokazale najizdržljivijima.

Dobiveni rezultati mogu se uglavnom pripisati korištenoj tinti sa manjim odstupanjima od podloge do podloge. Zamjenska tinta u iP pisaču nije namjenjena za korištenje sa pisačima tvrtke Canon koji imaju standarde trajnosti i kvalitete pa je tako otisak gotovo potpuno nestao.

Iako su tinte marke Canon izdržljivije, sve tri boje (*cyan, magenta i yellow*) bazirane su na *dye* bojilu što bi ih trebalo činiti slabijima. U ovom slučaju, tri vrlo kvalitetne i postojane *dye* tinte koje su se koristile zajedno sa pigmentnom crnom tintom, postigle su efekt otpornosti i uspješno zadržale boje uz minimalna odstupanja.



Grafikon 18. CIELAB usporedba svih papira i oba pisača prije i poslije staranja

Sve izmjerene boje pokazuju odstupanja u vrijednostima te prema CIELAB prikazu vidljiv je pomak svih boja prema ishodištu koordinatnog sustava, odnosno smanjenje njihovog intenziteta i zasićenja. Boje označene većim ikonama mjerene su prije izlaganja uvjetima umjetnog starenja, a boje označene manjim ikonama predstavljaju vrijednosti nakon tog procesa.

Kako bi se dobio dobar, trajan i kvalitetan otisak, ispitivanje nam je potvrdilo važnost odabira podloge i tinte prema preporukama proizvođača. Kompatibilnost pisača i korištenog materijala od iznimne je važnosti za dugotrajnost otiska, izražajne boje i očuvanje kolorimetrijskih vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

Kućni ispis fotografija pojava je koja je vrlo brzo zamijenila konvencionalnu metodu razvijanja fotografija u fotostudiju. Jednostavnost korištenja pisača, širok spektar tinti, fotopapira i proizvođača opreme omogućili su trenutno ispisivanje kvalitetnih digitalnih fotografija i njihovo pohranjivanje.

Promjenom tehnologije i metoda razvijanja, odnosno ispisa fotografija, potreba za njihovom trajnosti i izdržljivosti ostala je ista. Uz kvalitetan pisač te tintu i fotopapir preporučan od strane proizvođača, moguće je postići vrhunsku oštrinu, intenzitet boja i svjetlostabilnost ispisanog uzorka.

Provedenim istraživanjem dokazan je utjecaj sastava i kvalitete odabrane tinte kao najvažniji faktor pri ispisivanju uzoraka, dok je odabir odgovarajućeg fotopapira značajan za naglašavanje i zadržavanje pozitivnih karakteristika bojila, što znači da je svjetlostabilnost ispitanih uzoraka ovisila o kombinaciji faktora papira i bojila.

5. LITERATURA

1. ***<http://wmich.edu/pci/faculty/Publication/fleming/AdamR%20Paper%20for%20TAGA.pdf> - *Light Fastness of Pigment-based and Dye-based Inkjet Inks*, 25.6.2014.
2. ***<http://www.brancher.com/-Resistance-a-la-lumiere-.html?lang=en> - *Light Fastness – Brancher*, 29.6.2014.
3. ***<http://www.talens.com/en-gb/information/frequently-asked-questions/lightfastness/> - *Royal Talens | Lightfastness*, 29.6.2014.
4. ***<http://www.drb-mattech.co.uk/uv%20blue%20wool.html> - *Materials Technology Limited*, 29.6.2014.
5. Mikota M., *Studija sustava digitalne portretne fotografije*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb 2007.
6. Berns Roy S., *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, John Wiley and Sons Inc.
7. ***<http://en.wikipedia.org/wiki/Dye> - *Dye – Wikipedia*, 30.6.2014.
8. ***<http://www.dyes-pigments.com/inkjet-dyes.html> - *Inkjet Dyes*, 30.6.2014.
9. ***<http://dyes-pigments.standardcon.com/difference-pigments-dyes.html> - *Difference between Pigments and Dyes*, 30.6.2014.
10. ***http://en.wikipedia.org/wiki/Inkjet_paper - *Inkjet Paper – Wikipedia*, 2.7.2014.
11. ***https://www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/310 - *A Consumer Guide to Modern Photo Papers*, 4.7.2014.
12. Knešaurek N., *Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja*, predavanja, Grafički fakultet u Zagrebu, 2014.
13. CIE Publication x015:2004. *Colorimetry, 3rd ed.* Vienna:CIE Central Bureau:2004.
14. Golob V., Golob D., *Teorija barvne metrike. V Interdisciplinarnost barve. Del 1, V znanosti.* Uredila S. Jeler, M. Kumar, Maribor, Društvo kolorista Slovenije, 2001.

15. Kumar, M. *Barvna odstopanja v ofsetnom tisku. V Interdisciplinarnost barve. 2.del: v aplikaciji.* Uredila S.Jeler in M.Kumar. Maribor: Društvo koloristov Slovenije, 2003.