

Grafička reprodukcija flore s blizancima procesnih bojila u vidljivom i bliskom infracrvenom spektru

Bernašek Petrinec, Aleksandra

Doctoral thesis / Doktorski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:094970>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Aleksandra Bernašek Petrincec

**GRAFIČKA REPRODUKCIJA FLORE S
BLIZANCIMA PROCESNIH BOJILA U
VIDLJIVOM I BLISKOM INFRACRVENOM
SPEKTRU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Aleksandra Bernašek Petrinec

**GRAFIČKA REPRODUKCIJA FLORE S
BLIZANCIMA PROCESNIH BOJILA U
VIDLJIVOM I BLISKOM INFRACRVENOM
SPEKTRU**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Klaudio Pap

Zagreb, 2021.



University of Zagreb

FACULTY OF GRAPHIC ARTS

Aleksandra Bernašek Petrinec

**GRAPHIC REPRODUCTION OF FLORA
WITH TWIN PROCESS COLORS IN VISIBLE
AND NEAR INFRARED SPECTRUM**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor: prof. dr. sc. Klaudio Pap

Zagreb, 2021.

UDK 655.2:667.2:52-76

Imenovano Povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada:

1. doc. dr. sc. Miroslav Mikota, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Damir Modrić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. prof. dr. sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, vanjski član

Imenovano Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada:

1. doc. dr. sc. Miroslav Mikota, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Damir Modrić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. prof. dr. sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, vanjski član
4. izv. prof. dr. sc. Ivana Bolanča Mirković, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenska članica
5. izv. prof. dr. sc. Jana Žiljak Gršić, Sveučilište Sjever, zamjenska vanjska članica

Mentor:

prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

Datum obrane doktorskoga rada: 29. listopada 2021.

Mjesto obrane doktorskoga rada: Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada donijelo je sljedeću odluku:

„Obrabila s ocjenom summa cum laude (*s najvećom pohvalom*) jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

Informacije o mentoru

Dr. sc. Klaudio Pap je redoviti profesor na Grafičkom fakultetu. Rođen je 20. ožujka 1963. godine u Zagrebu. Nakon završene matematičke gimnazije u Zagrebu studirao je na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu gdje je i diplomirao na smjeru Računarske tehnike 1988. godine. Magistrirao je 1997. godine na istom fakultetu (sada Fakultet elektrotehnike i računarstva) s temom "Simulacija protoka informacija između računala i digitalnog tiskarskog stroja" na smjeru Računarskih znanosti (mentor dr. sc. Gabro Smiljanić). Doktorirao je 25. veljače 2004. na Fakultetu elektrotehnike i računarstva na smjeru Računarskih znanosti s temom: "Simulacija hibridnih i digitalnih sustava sa sučeljima za obradu slikovnih elemenata i rastera" (mentor dr. Vilko Žiljak).

Od 1988. g. do danas zaposlen je na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Na zagrebačkom sveučilištu je izabran u zvanje znanstvenog suradnika 2004. g. u području tehničkih znanosti i polje grafička tehnologija i postaje docent za kolegije Računarski slog i Računarsku grafiku. Na zagrebačkom sveučilištu je izabran u znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik, a 2010. g. postaje izvanredni profesor u području tehničkih znanosti, polje grafička tehnologija. Znanstveni savjetnik na Sveučilištu u Zagrebu postaje 2011. g. u području tehničkih znanosti, polje grafička tehnologija. Redoviti profesor na zagrebačkom sveučilištu postaje 2015. godine. Znanstveni savjetnik u trajnom zvanju postaje 2020. g. Postaje član suradnik Akademije tehničkih znanosti hrvatske 2005. godine, a 2017. g. postanje njezin redoviti član. Danas obnaša dužnost tajnika Odjela grafičkog inženjerstva HATZ-a.

U toku svog rada bavi se istraživanjem, razvojem i primjenom računala. Područja rada su: računarska grafika, procesiranje slike i teksta, modeliranje i simuliranje s računalom, web tehnologije, digitalni tisak, grafički programski jezici. Sudjelovao je na uvođenju novih tehnologija o čemu je održavao niz seminara, predavanja i tečajeva. Koautor je pet (5) razvojnih proizvoda, pet (5) softverska paketa. Dobitnik je Državne nagrade za znanost za 2010. u području tehničkih znanosti za znanstveno otkriće „Kreiranje tiskarskih boja za vidljivi i infracrveni spektar“ (Hrvatski sabor 2011.) kao i godišnje nagrade "Rikard Podhorsky" za 2010. godinu od Hrvatske akademije tehničkih znanosti.

Objavio je preko stotinu znanstvenih radova objavljivanih u časopisima, poglavljima knjiga i zbornicima s međunarodnih i domaćih znanstvenih skupova. Dobitnik je preko pedeset nagrada za inovaciju InfrareDesign® na prestižnim sajmovima inovacija po cijelom svijetu.

Član je stručnih društava; ACM, IEEE, Saveza inovatora Zagreba, Udruge inovatora Hrvatske.

Posveta

Ovaj rad posvećujem svojoj obitelji te im zahvaljujem na bezuvjetnoj podršci.

Zahvala

Zahvaljujem prof. dr. sc. Klaudiju Papu na mentorstvu i nesebičnoj pomoći tijekom izrade doktorske disertacije.

SAŽETAK

Svaki dio flore ima svoju vrijednost apsorpcije svjetlosti u području vidljivog spektra. Otkrićem da procesne boje imaju razdvojenost u vidljivom i blisko infracrvenom (eng. NIR - Near InfraRed) dijelu spektra, postavlja se tvrdnja da je izvediva reprodukcija koja sadrži vlastite vrijednosti flore za oba područja. U radu se razvija metoda kojom iz flore uzimamo njenu NIR informaciju.

Cilj istraživanja je postizanje istog spektrograma flore i njene reprodukcije u vidljivom i bliskom infracrvenom spektru. Priroda ima vlastiti blisko infracrveni sadržaj pa je cilj istražiti kako izgledaju svojstva apsorpcije flore izvan vidljivog područja, uz definiranje svih parametara u procesu grafičke reprodukcije flore s blizancima procesnih bojila u svrhu dobivanja kvalitetnije reprodukcije.

Mjerenja su usmjerena prema izvođenju receptura bojila za reprodukciju flore te optimalizaciju broja blizanaca za kvalitetan otisak u vidljivom i NIR spektru. Istraživanja su se provodila u laboratoriju za forenzička ispitivanja materijala i boje, na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku. Spektrofotometrijskom metodom mjerenja dobiva se kontrola nad segmentom testiranja uzorka koji nije vidljiv golim okom, a interval snimanja proteže se od 400 do 1000 nm čime smo obuhvatili vidljivi i blisko infracrveni dio spektra. Kao dodatna kontrola dobivenih vrijednosti mjerena je CIE $L^*a^*b^*$ vrijednost uzorka te se za svaku eksperimentalnu iteraciju računala ΔE vrijednost, dok se nije postigla vrijednost manja od tri za pojedini blizanac. Teorija blizanaca boje razvijena je s primjenom na algoritam za spajanje dviju slika vidljivog i blisko infracrvenog spektra. Uspješnim izvođenjem matematičkog modela dobivene su vrijednosti blizanaca bojila iz flore koje su integrirane u postojeći algoritam, čime je postignuto proširenje i unapređenje INFRAREDESIGN[®] teorije za prikaz flore, a iz postignutih rezultata razvijene su metode koje vjerodostojno simuliraju tonove dobivene mjerenjem vrijednosti flore u NIR spektru. Time se postiže da nova grafička reprodukcija ima isti odaziv u NIR području, kao i original, flora.

Ključne riječi: flora, reprodukcija, blisko infracrveni spektar, INFRAREDESIGN[®], blizanci bojila

EXTENDED ABSTRACT

Each part of flora has its own light absorption value in the visible spectrum area. With discovery that process colors are separated in visible and near-infrared (NIR - Near InfraRed) part of the spectrum, a claim is being made that the reproduction that contains it's own flora values for both areas is feasible. In this paper a method is being developed by which NIR information is being taken from flora.

Measurements are aimed at producing dye recipes for flora reproduction and optimizing the number of twins for quality print in visible and NIR spectrum. The research was conducted in the laboratory for forensic examinations of materials and colors, on a digital spectral device. With the spectrophotometric method of measurement, we gain control over the test sample segment that is not visible to the naked eye, and the recording intervals extend from 400 to 1000 nm, which encompasses the visible and near-infrared part of the spectrum. As an additional control of the obtained values, the CIE L*a*b* value of the sample was measured, and for each experimental iteration a ΔE value was calculated until a value less than three for each twin was reached.

The color twin theory was developed with application to an algorithm for merging two images of the visible and near-infrared spectrum. By successfully formulating the mathematical model, the values of dye twins from flora were obtained and integrated into the existing algorithm, thus expanding, and improving the INFRAREDESIGN[®] theory for flora representation from the collected data in the NIR spectrum. This ensures that the new graphic reproduction has the same response in the NIR area as the original, flora.

The purpose of the research

Purpose of this study is to achieve the same spectrogram of flora and its reproduction in the visible near infrared spectrum. Nature has its own near infrared content, so the purpose is to investigate what do absorption properties for flora outside visible spectrum look like, while defining every parameter in the process of graphic reproduction of flora with twins of process dyes in order to obtain reproduction of better quality.

Research Hypotheses

1. CMYK process colors are adequate to simulate all colors of the visible spectrum, including infrared light absorption from flora.
2. By merging of two photographs in the visible and near infrared spectrum we can formulated an algorithm that credibly simulates all twin colors from the middle of the tonal spectrum that were obtained by measuring flora in the range from 400 to 1000 nm.
3. Graphic reproduction of flora with process dyes can be fabricated so that the range of coloring in the printing technique allows the same absorption in the visible and near infrared spectrum as in nature.

Scientific contribution of the proposed research

Improving INFRAREDESIGN[®] technology for realistic representation and flora printing with the extension of the dye twin theory and its application to an algorithm for merging two images of the visible and near-infrared part of the spectrum. Numerous measurements of flora samples were conducted, and with the information from spectrophotometric recordings of the samples information on the absorption of flora in both spectrums was obtained.

Experimental iterations were conducted on samples of the obtained dye twins until the value of the colorimetric difference between the individual twins fell below three. From obtained values of the dye twins that reproduce the color of the flora a database of the absorption properties of the flora samples was created. The database contains 59 twin dyes prepared for graphic reproduction of flora, which made this dissertation even more valuable and additionally contributed to the development of graphic technology.

A new mathematical model and algorithm for merging visible and near-infrared images and for determining the coverage distribution of dye process components in order to perform dual reproduction of flora was formulated. The development of an algorithmic solution for merging two images of different spectrum with an associated set of dye twins followed a

properly performed image deformation in the NIR area. Seventeen dye twins were selected for this part of the experiment and undertaken for further analysis.

Development of the algorithm required the formulation of a mathematical model which was then integrated into the existing image merging algorithm. The mathematical model was formulated by regression analysis of the obtained values from the flora for $K = 36$. To perform mathematical interpolation, we created a twin of the same color shade as X_0 where $K = 0$, with a given value of $K = 36$, and it is represented by X_{36} .

The analysis defined the interdependence of these experimental values, and a formula that would perform mathematical interpolation algorithmically for the same pixel positions in the image for the visible region and the NIR region of the spectrum was derived. By successfully performing mathematical interpolation, the values of the dye twins from the flora were obtained and integrated into the existing algorithm, thus achieving the expansion and improvement of INFRAREDESIGN[®] technology and achieving the original scientific contribution.

New methods of graphical reproduction of flora have been developed that include the visible and near-infrared spectrum with the identification of the realistic state of the flora in the extended light range. As a result of all research in this paper, a graphical reproduction of the flora with twins of process dyes in the visible and near-infrared spectrum was produced.

The difference between standard flora reproduction and dual flora reproduction in the visible and NIR areas of the spectrum was experimentally determined. Although there is almost no noticeable difference in the visible part, the image in the NIR part shows a large deviation in the reproduction of this hidden area of the spectrum.

Successful reproduction of flora in two spectral areas finds its greatest application in the production of camouflage uniforms. And with the help of the created database that has absorption properties of flora samples, a uniform for all seasons can now be created.

Key words: flora, reproduction, Near InfraRed, INFRAREDESIGN[®], twin dye

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	4
1.2. Cilj i hipoteze istraživanja.....	8
1.3. Metodologija i plan istraživanja.....	9
1.4. Očekivani znanstveni doprinos.....	13
2. EKSPERIMENTALNO TESTIRANJE MJERENJA UZORAKA FLORE.....	14
2.1. Eksperiment starenja flore.....	14
2.2. Mjerenje po fazama.....	17
2.3. Spektrofotometrijska krivulja mjerenih uzoraka.....	19
2.4. Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka.....	24
2.5. Ograničenja uređaja za digitalnu spektralnu forenziku.....	25
2.6. Zaključak eksperimenta starenja flore.....	25
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	27
3.1. Eksperimentalno projektiranje blizanaca bojila za proširenje INFRAREDESIGN® tehnologije.....	28
3.1.1. Izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila pomoću programskog rješenja.....	29
3.1.2. Višestruko praćenje boje flore u dva spektra u svrhu proširenja INFRAREDESIGN® tehnologije za prikaz flore pomoću programskog rješenja.....	29

3.2.	Ekspiriment mjerenje jednakosti dviju boja preko spektrograma i ΔE vrijednosti.....	30
3.2.1.	Opis eksperimenta.....	31
3.2.2.	Ekspiriment AB1 Blizanci OKI.....	33
3.2.3.	Zaključak eksperimenta mjerenja jednakosti blizanaca bojila.....	94
3.3.	Mjerenje uzoraka flore.....	96
3.3.1.	Promatranje flore u prirodnom okruženju ZRGB kamerom....	96
3.3.2.	Spektrofotometrijsko mjerenje vrijednosti apsorpcije uzorka..	98
3.3.3.	Mjerenje uzoraka	99
3.4.	Spajanje dviju slika flore iz vidljivog u blisko infracrveno područje spektra pomoću matematičkog algoritma.....	120
3.4.1.	Postupak pripreme fotografija vidljivog i NIR spektra za izvođenje dualne slike.....	122
3.4.2.	Razvijanje algoritma za spajanje dviju slika različitog spektra s pridruženim setom blizanaca za proširenje INFRAREDESIGN® metode.....	124
4.	GRAFIČKA REPRODUKCIJA FLORE S BLIZANCIMA PROCESNIH BOJILA U VIDLJIVOM I INFRACRVENOM SPEKTRU.....	131
5.	ZAKLJUČAK.....	134
6.	LITERATURA.....	137
7.	POPIS SLIKA, GRAFOVA I TABLICA.....	143
7.1.	Popis slika.....	143
7.2.	Popis grafova.....	145

7.3. Popis tablica.....	147
8. ŽIVOTOPIS.....	148
9. PRILOZI.....	152

1. UVOD

Grafička reprodukcija kompleksan je proces koji osigurava optimalne uvjete za ostvarivanje najkvalitetnijeg otiska. Postizanje otiska jednakog ili najsličnijeg originalu zahtjeva praćenje svih parametara grafičke pripreme i tiska. Ako je u cijeli proces ugrađen i segment koji ima odaziv u vidljivom i NIR području ili samo u NIR području, proces reprodukcije se proširuje i na praćenje parametra u dijelovima spektra koji nisu vidljivi golim okom. Taj je postupak puno složeniji te je za odgovarajući rezultat nekad potrebno i više desetaka iteracija.

Uzorci koji će se promatrati uzeti su iz prirode zbog svoje raznolikosti u bojama te potrebe da se vrijednost apsorpcije svjetlosti osim iz vidljivog područja zabilježi matematički i za NIR područje. Poznato je da flora posjeduje sva stanja spektra i ima specifičnu interakciju s elektromagnetskim zračenjem. Promatranjem flore pod ultravioletnim zračenjem možemo primijetiti razne fluorescentne tonove kojima životinje raspoznaju različite vrste biljaka. U vidljivom području svjedočimo velikoj raznolikosti boja te su do sada napravljena mnoga mjerenja kojima su boje digitalno zapisane i pripremljene za korištenje u grafičkoj reprodukciji. Kod NIR područja imamo situaciju koja pokazuje vrlo male nijanse različitosti između biljaka. U ovom radu pokušat će se razlučiti ta različitost na uzorcima te će se pokušati izvesti nadogradnja matematičkog algoritma za realnu reprodukciju u NIR spektru. Radit će se mjerenja kako bi dobili znanstveno utemeljene digitalne zapise boje za što vjerodostojniju grafičku reprodukciju boja iz prirode. NIR područje dugi niz godina promatra se i za potrebe razvoja INFRAREDESIGN[®] tehnologije te će se ovim radom nastojati postići proširenje IRD[®] tehnologije u svrhu dokazivanja da je izvediva reprodukcija koja sadrži vlastite vrijednosti flore za vidljivo i NIR područje.

Nakon početnog prikaza dosadašnjih istraživanja, postavljanja cilja i hipoteza te opisa plana i metodologije istraživanja, radit će se analiza boja iz prirode. U ovom poglavlju objasnit će se način odabira uzoraka flore (2.). Prikazat će se faze starenja uzoraka (2.1.) i blijeđenja pigmenta koji mogu promijeniti tijekom i vrijednosti mjerenja, zbog čega je važno definirati vremenske periode i tijekom mjerenja (2.2.). U poglavlju će biti objašnjeno kako i zašto se gubi pigment uz definirane uvjete i načine mjerenja uzoraka (2.6.).

Doživljaj boja individualna je stvar pojedinca, koji često dovodi do krive procijene te može dovesti i do lošije kvalitete reprodukcije. Stoga je važno kontrolirano promatranje cijelog

procesa reprodukcije i svih pripadajućih bitnih parametara za ostvarivanje kvalitetnog otiska. U ovakvoj vrsti reprodukcije otisak se prati u dva spektra te postoji više segmenata koji utječu na kvalitetni razvoj procesa grafičke reprodukcije.

U trećem poglavlju izvodit će se eksperimentalna mjerenja izabranih uzoraka. Mjerenja su usmjerena prema izvođenju receptura boja za grafičku reprodukciju prirode. Eksperiment je podijeljen u tri faze. Prva faza eksperimenta uključuje izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila (3.1.1.) i višestruko praćenje boje flore u dva spektra (3.1.2.). Za testiranje, odabrane su boje iz prirode dokumentirane ZRGB kamerom, a informacije o boji uzete su digitalnim putem. Odabrane fotografije imaju zabilježeno vidljivo i NIR područje spektra te se iz fotografija u vidljivom spektru bira nijansa koja će se kasnije uvrstiti u bazu boja(4.). Sve boje proći će proces izjednačavanja vrijednosti za oba područja (3.2.). Izjednačavanje će se izvoditi pomoću programskih tablica za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka te izmjerenim vrijednostima spektrograma svake prethodne iteracije. U ovom poglavlju će biti prikazan prvi od šest testnih listova blizanaca bojila (3.2.2.), a rezultati ostalih pet testnih listova bit će priloženi u bazi boja (4.). Cilj je da blizanci bojila budu izjednačeni vizualno i spektralno s vrijednosti ΔE manjim od tri.

Druga faza eksperimentalnog mjerenja izvodit će se na živim uzorcima flore (3.3.). I u ovoj fazi će se koristiti ZRGB kamera kojom se u prirodnom okruženju promatraju i dokumentiraju uzorci flore (3.3.1.). Promatrat će se četiri uzorka, raspoređena prema prirodnom vremenskom tijeku kroz cijelu godinu, a birat će se prema godišnjem dobu. Time će biti obuhvaćen cijeli godišnji ciklus i mijenjanje prirode obzirom na vremenske uvjete. Kako je jedna od mogućih primjena ovog eksperimenta i aplikacija na vojne uniforme, morale su biti obuhvaćene sve prirodne promjene kroz jednu godinu. Time bismo obuhvatili izradu reprodukcije za zimsku uniformu, kao i onu koja će se koristiti ljeti. Odlučeno je da predstavnik proljeća bude biljka tipična za to doba godine, ruža, za predstavnika ljeta koristit će se uzorak zelenog lista drveta breze dok će jesen predstavljati voćka jabuke crvene boje, a za predstavnika zime uzet će se smeđa kora drveta vrbe. Svaki uzorak mjerit će se po točno definiranoj proceduri (3.3.3.). Uz slikanje uzoraka ZRGB kamerom u dva spektra, procedura zahtijeva i snimanje uzoraka u četiri barijerna područja s uređajem za spektralnu digitalnu forenziku, spektroskopsko mjerenje vrijednosti apsorpcije uzorka (3.3.2.) te mjerenje CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti svakog uzorka u pet točaka (3.3.3).

U trećoj fazi izvodit će se grafička reprodukcije flore za vidljivo i NIR područje (3.4.). Eksperiment će i u ovoj fazi zahtijevati slikanje flore u njenom prirodnom okruženju u

vidljivom i NIR području, no u ovoj fazi se neće promatrati uzorci, već će se dokumentirati fotografije za reprodukciju realnog stanja prirode. Sve fotografije dokumentirat će se ZRGB kamerom jer njene mogućnosti dopuštaju simultano snimanje dva spektra u istom vremenskom razdoblju. Taj segment simultanog snimanja vrlo je bitan prilikom snimanja prirode zbog njenog neprestanog „gibanja“ koje se želi izbjeći prilikom snimanja fotografije za reprodukciju flore u dva spektra. Odabrane fotografije će biti pripremljene prema zadanim procedurama. U radu će se spajanje fotografija za vidljivi i NIR spektar izvoditi i ručno i algoritamski, a obje procedure će biti opisane i definirane (3.4.1.).

Nakon pripreme slika nad kojima će se izvoditi glavni dio eksperimenta, morat će se napraviti sve predradnje koje obuhvaća kvalitetna grafička reprodukcija flore u dva spektra. U ovoj fazi analizirat će se i odabrati blizanci boja iz baze boja te će se pristupiti razvoju algoritma za spajanje dviju slika različitog spektra (3.4.2.). Odabrani blizanci boja pripremat će se s vrijednostima za K kanal 36% te će se na njima izvoditi regresijska analiza koja iz zadanih izmjerenih i pripremljenih vrijednosti reproducira ostale potrebne boje. Uspješno algoritamski podešeni blizanci bojila za realni prikaz flore će se zatim integrirati u grafičku reprodukciju flore u dva spektra (3.4.3.).

U četvrtom poglavlju prikazat će se baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore. Baza će proizaći iz opsežnih mjerenja vrijednosti iz prirode te će sadržavati informacije o blizancima bojila koji su pripremljeni za reprodukciju flore. Boje će se digitalno očitavati, a informacija o svakoj boji biti će zabilježena u tablici na kraju radnje (4.).

1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja

Svako bojilo ima vlastita svojstva refleksije i apsorpcije svjetlosne radijacije. Istraživanja su dokazala da procesne boje cijan (C - cyan), magenta (M - magenta), žuta (Y - yellow) i crna (K) zadovoljavaju potrebe višebojnog tiska u vidljivom dijelu spektra s obzirom na ograničenje ljudskog oka [1]. Zbog činjenice da navedene boje u bliskom infracrvenom (NIR - Near InfraRed) području imaju međusobno različite odazive, stvoreni su algoritmi za upravljanje aditivno (R - red, G - green, B - blue) - supraktivnom (CMYK) separacijom za integraciju vidljivog i NIR odaziva slike [2].

Odaziv CMYK bojila u NIR području ne može se opisati parametrima iz CIE $L^*a^*b^*$, sRGB ili HSB kolor sustavima, koji su baza teorije upravljanja bojama u vidljivom dijelu spektra. Zbog toga se razvila nova separacija boja iz RGB u CMYK kolor sustav pod nazivom CMYKIR kojom se integriraju željene vidljive i NIR slike u jednu [3]. CMYKIR separacija zasniva se na algoritmu za transformaciju iz aditivnog u supraktivni sustav boja, uzimajući u obzir svojstva procesnih bojila u NIR spektru. U proceduru CMYKIR separacije ulaze dvije nezavisne slike. One mogu biti definirane rasterom, vektorom i algoritamski, kao i njihove kombinacije, s tim da će prva slika biti vidljiva od 400 do 700 nm, druga slika ima dva područja vidljivosti, od 400 do 1000 nm ili od 800 do 1000 nm, ovisno o zadanim parametrima koji određuju područje prepoznavanja [4].

Područje promatranja apsorpcije svjetla u ovom istraživanju nalazi se od 750 nm do 1000 nm. Razlog tomu su svojstva te ograničenja u propusnosti svjetla filtera ugrađenih u kamere za analiziranje i dokumentiranje u vidljivom i NIR spektru. Da bi se isti uzorak mogao simultano promatrati u dva spektra, razvijena je posebna dualna kamera koja istodobno bilježi scenu u vidljivom dijelu spektra i u dijelu spektra filtriranog s barijernim filtrom na 1000 nm. Autori dualne kamere su toj barijeri od 1000 nm nadjenuli oznaku Z, a samoj kameri naziv ZRGB kamera. Takvom kamerom korigira se faktor pogreške koji nastaje zbog vremenske razlike stvaranja slike u dva odvojena spektralna područja [5]. Apsorpcijsko svojstvo flore za vrijeme snimanja u prirodi podložno je promjenama s obzirom na meteorološke utjecaje, doba dana i godišnje doba. Parametar Z opisuje apsorpciju svjetla u području NIR spektra, a prostire se od 1000 do 1100 nm. Vrijednost Z kao numerički prikaz apsorpcije u NIR-Z dijelu spektra pridružena je standardnim parametrima za opisivanje i upravljanje svojstvima dvostrukih boja [6]. Kroz softversko rješenje razvijeno za potrebe INFRAREDESIGN®

(IRD[®]) tehnologije moguće je prepoznati razliku između RGB i Z stanja za svaki piksel slike [4].

Razvoj istraživanja u NIR području nastavlja se s timom znanstvenika u radovima koji su se koristili spektralnom analizom. Spektroskopija je grana znanosti koja proučava interakciju elektromagnetskog zračenja i materije i neizostavna je kod brojnih analiza. U ovom se radu boja manifestira i mjeri kroz apsorpciju svjetla. Ona je psihofizičko svojstvo koje dva različita promatrača pod istim izvorima svjetla neće percipirati na isti način, kao ni isti promatrač pod različitim izvorima svjetla. Zbog te činjenice su instrumentalne metode ključne za određivanje boje, jer pružaju numeričke rezultate, a ne subjektivni doživljaj pojedinca [7].

Bliska infracrvena spektroskopija (NIRS) ima široku primjenu u medicini, te za farmaceutske, agrokemijske i prehrambene svrhe, kao i u astronomiji. Upotrebljava se i u forenzici, topografiji, pri hiperspektralnom snimanju, promatranju različitih materijala i grafičkoj industriji. Postoje objavljeni radovi u kojima se eksperimentalnim metodama u NIR području istražuje flora u razne svrhe, kao primjena za prethodno navedena područja znanosti [8, 9, 10].

Spektrofotometrijsko određivanje boje relevantno je za ovo istraživanje kako bi se prikupili istiniti podatci o bojama uzoraka iz prirode, njihove spektralne karakteristike u vidljivom i NIR dijelu spektra. U početku istraživanja spektroskopije postojali su radovi koji su promatrali bojila samo u vidljivom dijelu spektra. Uređajem za spektralnu digitalnu forenziku Projektina Docucentar 4500 primjena spektrograma proširena je na NIR područje spektra [11]. Takav način se pokazao kvalitetnim kod stvaranja blizanaca bojila te je takav vid bilježenja i izučavanja materije primijenjen i u ovom radu.

IRD[®] tehnologija temelj je svih istraživanja autorice ovoga rada na području spektroskopije. IRD[®] tehnologija upotrebljava bojila kao procesna bojila nastala CMYKIR separacijom i kao spot bojila. Zasniva se na metodi stvaranja slike koja posjeduje dvije informacije, jednu u vidljivom, a drugu u NIR dijelu spektra [4]. IRD[®] reprodukcija dobiva se spajanjem više slika u jednu, putem pet principa zadanih za kvalitetnu IRD[®] reprodukciju slike [12]:

1. količina CMY u CMYK separaciji
2. nevidljivost CMY separacije pri izlaganju NIR svjetlosti
3. prisutnost karbon crne u NIR

4. siva i CMY siva

5. ovisnost uređaja o CMYK separaciji boja

Blizanci bojila su pojam koji opisuje istraživanja gdje se pomoću apsorpcijske spektrofotometrije rješava komponenta prilagođavanja i izjednačavanja nijansi boja za vidljivi spektar. Iz spektrofotometrijskih krivulja očitavaju se informacije na temelju kojih se izvode korekcije za eksperiment nove iteracije za NIR reprodukciju. Spektri blizanaca bojila jednaki su u vidljivom dijelu spektra, a do razdvajanja dolazi na krivuljama poslije 700 nm. U tom stanju ostaju do 850 nm kad dolazi do stabilizacije [13]. Sastav bojila blizanaca ovisi o njegovoj Z komponenti, određenoj vanjskim zapisom, ostale tri boje (CMY) se podređuju postizanju jednakosti po teoriji blizanaca. Zbog potrebe raščlanjivanja intervala od 700 do 1000 nm definirana su dva područja Z1 i Z2. Područje Z1 opisuje zonu od 700 do 800 nm, a Z2 opisuje zonu od 800 do 1000 nm. Takvim segmentiranjem intervala dobivene su 3 faze promatranja apsorpcijske spektrofotometrijske krivulje. Prva faza je vidljivo područje od 400 do 700 nm, druga Z1 faza nazvana je područjem miješanja, jer dolazi do miješanja vidljivog i NIR spektra. Treća faza Z2 mjesto je gdje se sve krivulje spajaju u jednu točku te se može točno upravljati parametrima boja [14].

CIE $L^*a^*b^*$ je 3D prostor boja koji predstavlja tri vrijednosti; L^* koji definira svjetlost od crne (0) do bijele (100), a^* predstavlja boje od zelene (-) do crvene (+), a b^* boje od plave (-) do žute (+). Prema International Commission on Illumination (CIE) konzorciju to je standardiziran prostor koji obuhvaća sve boje V spektra kao i ograničene prostore boja svih ulaznih i izlaznih uređaja [15, 16]. CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti mjere se raznim uređajima poput kolorimetra, denzitometra i spektrofotometra, no za potrebe ovog istraživanja eksperimenti će se izvoditi spektrofotometrima kao proširenje spektrofotometrijskih analiza u prethodnim istraživanjima. CIE $L^*a^*b^*$ sustav boja upotrebljava se kao baza za izračunavanje delta E (ΔE). ΔE govori o vizualnoj razlici između dviju mjerenih boja, matematički se definira kao greška između dviju boja, a daje informaciju o udaljenosti dviju boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja. ΔE vrijednosti računat će se pomoću poznate ΔE^*_{ab} formule [17].

U dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je da flora i fauna imaju vlastita svojstva apsorpcije za oba spektra [18]. Dugo se priroda kroz infracrvene filtere fotoaparata gledala samo u umjetničke svrhe kod umjetnika koji su eksperimentirali i stvarali fotografije s informacijama

u drugim spektralnim područjima. Digitalnim tehnikama razvijaju se i usavršavaju metode izvođenja kvalitetne fotografije u ultravioletnom (UV) i NIR dijelu spektra [19].

NIR reprodukcija se primjenjivala u sigurnosnom tisku te su se do sada kreirani algoritmi upotrebljavali najviše za zaštitu dokumenata i vrijednosnih papira [20]. Primjenu je našla i u dizajniranju aplikacija za tekstil razvojem inovativne metode otiskivanja digitalnim tiskom, gdje se na tekstilu stvara oku nevidljiva informacija koja se može očitati ZRGB kamerom [21]. Kod tiska tekstila radi se posebna priprema za tisak, a parametri za tisak određuju se ovisno o vrsti tekstila [22]. Ovakva tehnologija primjenjiva je za zaštitu dizajnerskih odjevnih predmeta, kao i za razne vrste uniformi.

1.2. Cilj i hipoteze istraživanja

Cilj doktorske disertacije je postizanje istog spektrograma flore i njene reprodukcije u vidljivom i bliskom infracrvenom području. Kako priroda ima vlastiti blisko infracrveni sadržaj cilj je istražiti kako izgledaju svojstva apsorpcije flore izvan vidljivog područja, uz stvaranje receptura bojila za grafičku reprodukciju flore te definiranje točnog broja blizanaca bojila za dobivanje kvalitetnije reprodukcije.

U tu svrhu postavljaju se hipoteze:

1. CMYK procesne boje dovoljne su za simulaciju svih boja vidljivog spektra uključujući i infracrvenu apsorpciju svjetlosti s flore.
2. Spajanje dviju fotografija u vidljivom i blisko infracrvenom spektru izvedivo je algoritmom koji vjerodostojno simulira sve međutonove iz novih blizanaca bojila dobivenih mjerenjem flore u spektralnom području od 400 do 1000 nm.
3. Grafička reprodukcija flore s procesnim bojilima može se napraviti tako da opseg obojenja tiskarske tehnike omogućava iste apsorpcije u vidljivom i bliskom infracrvenom spektru kao i u prirodi.

1.3. Metodologija i plan istraživanja

Ovo znanstveno istraživanje provodit će se u laboratoriju za forenzička ispitivanja materijala i boje. Projectina Docucenter 4500 sa softverom Pia 7000 sofisticirani je uređaj za spektralnu digitalnu forenziku koji pruža uvid u strukturu materije, čime je osigurano promatranje uzoraka na precizno odabranim područjima. Spektroskopskom metodom mjerenja dobiva se kontrola nad segmentom testiranja uzorka koji nije vidljiv ljudskim okom. Interval snimanja proteže se od 400 do 1000 nm, čime je obuhvaćen vidljivi i bliski infracrveni (NIR - Near InfraRed) dio spektra. Mjerenjem CIE L*a*b* vrijednosti sa spektralnim denzitometrom dobit će se informacije iz kojih će se izračunati ΔE za vidljivo spektralno područje. Provjera dobivenih spektrofotometrijskih vrijednosti provodit će se s denzitometrom X-Rite SpectroEye.

Na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku izradit će se i serija fotografija u NIR području s barijernim filterima od 715 nm, 780 nm, 850 nm i 1000 nm, a za dokumentiranje uzoraka na terenu upotrijebit će se ZRBG kamera s NIR filtrom.

Plan i metodologija istraživanja:

1. Skupljanje i klasifikacija uzoraka latica, lišća, stapki i kore kao temelj uzorkovanja flore
2. Određivanje optimalnih područja snimanja na uzorku; mjesto snimanja i količina promatranih točaka
3. Mjerenje definiranih područja spektrofotometrom na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter sa softverom PIA 7000
4. Određivanje CIE L*a*b* vrijednosti softverom PIA 7000 za definiranu mjernu poziciju na flori
5. Snimanje uzoraka flore kroz barijerne filtere na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter

6. Snimanje uzoraka ZRGB kamerom u prirodnom okruženju u vizualnom i NIR spektru
7. Stvaranje nove baze podataka svojstava apsorpcije svjetla uzoraka flore
8. Razvijanje algoritama za spajanje dviju slika različitog spektra s pridruženim setom blizanaca bojila
9. Definiranje tiskarskih i kolor parametara za bojila i reprodukciju na elektrofotografskim četverbojnim digitalni tiskarskim uređajima
10. Reprodukcijska flore s blizancima procesnih bojila za vidljivi i NIR spektar na elektrofotografskim četverbojnim digitalnim tiskarskim uređajima
11. Određivanje CIE L*a*b* vrijednosti softverom PIA 7000 eksperimentalnih iteracija blizanaca bojila
12. Popravak grafičke pripreme uzoraka za sljedeću reprodukciju iteraciju dok se ne postigne željeni ΔE manji od 3

Flora starenjem mijenja svoja svojstva; strukturu, boju i volumen. Za ovo znanstveno istraživanje upotrijebit će se svježa flora, kako bi vrijednosti iz prirode ostale nepromijenjene. Skupljat će se uzorci latica, lišća, stapki i kore, a za osiguranje što šireg opsega boja dokumentirat će se kroz sva godišnja doba. Zbog prostornog ograničenja mjernog sektora u uređaju spektralnu digitalnu forenziku nije moguće snimati živu floru pa će se za što vjerodostojnije rezultate, mjerenje metodom uzoraka raditi odmah nakon ubiranja flore u laboratoriju.

Zbog potrebe promatranja flore na terenu upotrijebit će se ZRGB kamera za snimanja na valnoj duljini od 1000 nm. Ovom kamerom uzorci se vizualno mogu promatrati u NIR dijelu spektra u prirodnom okruženju. Odabir flore na taj način pridonosi većoj kvaliteti uzoraka jer u prirodi flora zbog svog reljefa stvara sjene koje najviše utječu na razliku vrijednosti apsorpcije svjetla u NIR području. Birajući uzorke pomoću kamere otklanjaju se prirodni faktori koji ometaju eksperimentalna snimanja.

Na odabranom uzorku flore, metodom promatranja će se odrediti područja koja će se mjeriti spektrofotometrom. Označit će se segmenti vrlo malih dimenzija, kako bi se izbjeglo eventualno krivo instrumentalno očitavanje vrijednosti zbog nepravilnog rasporeda prirodnog

pigmenta na dijelovima uzorka flore. Svaki uzorak snimat će se u pet definiranih mjernih područja. Ta se područja definiraju za svaki uzorak posebno, zbog različitih oblika, strukture i volumena izabrane flore. Kod uzoraka iz iste porodice flore postoje odstupanja, jer se na prirodne faktore ne može utjecati. Definirano je pet pozicija kako bi se osigurala što veća mjerna pokrivenost uzorka te kako bi se vidjela odstupanja u nijansama boje iz uzorka. Ograničavanjem mjernih područja smanjit će se mogućnost pogreške te će se dobiti precizniji rezultati.

U svakoj od tih pet pozicija mjerit će se apsorpcijska vrijednost uzorka spektrofotometrijskim snimanjem u tri referentne točke. Uređaj Projectina Docucenter sa softverom PIA 7000 pruža uvid u mikroskopski prikaz uzorka te se na taj način može lokalizirati područje snimanja. Prilikom snimanja uređaj mjeri segmente veličine nekoliko mikrometrima (μm) s velikim optičkim povećanjem površine što daje uvid u strukturu uzorka te se u prethodnim istraživanjima testiranjem došlo do zaključka da su tri točke snimanja istog mjernog područja dovoljne za optimalne rezultate. Referentne točke uzimat će se nasumično unutar označenog područja i time dobiti prosječna vrijednost snimanog segmenta. Sumiranjem broja uzorkovanja od pet mjernih područja gdje se svaka pozicija mjeri u tri točke dolazimo do ukupnog broja od 15 mjerenja po svakom uzorku. Iz izmjerenih vrijednosti uzoraka, kao grafički prikaz mjerenja dobit će se apsorpcijska spektrofotometrijska krivulja. Prilikom određivanja boja za vidljivi dio spektra primjenjuju se spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 400 do 700 nm. Za potrebe ovog rada interval promatranja proširi će se do 1000 nm, kako bi se pokrio NIR dio spektra te će se analizirati interval krivulje od 400 do 1000 nm.

Uzorak će se nakon apsorpcijskog spektrofotometrijskog mjerenja snimati i dokumentirati kamerom s barijernim filtrima te će se metodom analize proučavati vidljivi aspekti uzoraka. Uređaj Projectina Docucenter ima filtre definirane u vidljivom i NIR području od 630 nm do 1000 nm. Za potrebe ovog istraživanja koristit će se 4 barijerna filtra od 715 nm, 780 nm, 850 nm i 1000 nm zbog čega će se uzorci moći vizualno promatrati u NIR dijelu spektra. Za usporedbu i praćenje promjena u vidljivom dijelu spektra, uzorci će se paralelno pohranjivati i običnim RGB fotoaparatom. Od prikupljenih informacija formirat će se nova baza podataka svojstava apsorpcije svjetla uzoraka flore koja se sastojati od forenzičkog snimanja u četiri spektralne sekcije od 715 nm, 780 nm, 850 nm i 1000 nm te fotografijama s dualnim karakterom snimljenima u vidljivom i NIR spektru.

Nakon iščitavanja dobivenih mjernih vrijednosti eksperimentalnom metodom izvodit će se algoritam za višestruko praćenje flore u dva spektra, radi spajanja dviju slika različitog

spektra u jednu. Spajat će se slike iz vidljivog i NIR spektra te će se formirati slike s dualnom karakteristikom. Algoritam će iz izmjerenih vrijednosti uzoraka flore uzeti NIR informaciju očitano iz apsorpcijskih spektrograma.

Za kvalitetnu grafičku reprodukciju moraju se točno odrediti parametri tiska. Svi digitalni tiskarski uređaji imaju vlastiti prostor boja definiran kao ograničenje uređaja. Zbog tog ograničenja oni ne mogu reproducirati jednaku nijansu boje te se svaki uređaj mora prilagođavati određenim načelima kako bi se dobio željeni rezultat. Provođen će se testiranja i prilagođavanja tiskarskih i kolor parametara za elektrofotografske četverbojne digitalne tiskarske uređaje. Vrijednost otisaka uzoraka odredit će se prema parametrima zadanim algoritmom za pojedinu iteraciju. Za svaku novu eksperimentalnu iteraciju izrađuju se blizanci bojila određenog tona. Ton blizanca bojila određen je prema originalu, tj. vrijednosni dobivenoj mjerenjem uzorka flore.

Uz prikaz spektrograma označenih područja, softver PIA 7000 daje mogućnost ispisa CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti mjerenih komponentata te će se CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti apsorpcije originala moći uspoređivati s CIE $L^*a^*b^*$ vrijednostima apsorpcije reprodukcije. CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti apsorpcije originala uspoređivat će se sa svakom eksperimentalnom iteracijom dok se ne dobije željeni rezultat. Iz dobivenih CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti će se zatim računati ΔE preko poznate ΔE^*ab formule. Nastojanja su dobiti informaciju o minimalnom ΔE između originala (flore) i reprodukcije.

Reprodukcija tiskom pokriva što je zabilježeno u vidljivom i NIR dijelu spektra. Kako priroda ima vlastiti blisko infracrveni sadržaj, cilj ovog rada je da i reprodukcija ima NIR sadržaj. Iteracija svakog blizanca bojila promatrat će se i mjeriti u istim uvjetima kao original. Bilježit će se sva odstupanja te će se na temelju dobivenih razlika u nijansi boje prilagođavati eksperimentalne iteracije blizancima bojila. Prilagođavanje nijansi pojedine boje provodit će se u grafičkom programu Adobe Photoshopu (CS6 paket) eksperimentalnom metodom, gdje se precizno može manipulirati postotnim vrijednostima svake boje.

1.4. Očekivani znanstveni doprinos

1. Razvit će se nove metode grafičke reprodukcije flore koje uključuju vidljivi i blisko infracrveni spektar s identificiranjem realnog stanja flore u proširenom svjetlosnom području.
2. Unaprijedit će se INFRAREDESIGN[®] tehnologija za realan prikaz i tisak flore s proširenjem teorije blizanaca bojila.
3. Izradit će se novi matematički model i algoritam za spajanje vidljive i blisko infracrvene slike i za određivanje raspodjele pokrivenosti procesnih komponenti bojila u cilju izvedbe dualne reprodukcije flore.

2. EKSPERIMENTALNO TESTIRANJE MJERENJA UZORAKA FLORE

Reprodukcija prirode je vrlo nepredvidiv i kompleksan proces u kolor managementu. Flora posjeduje nekoliko stanja te je podložna brzom promjeni pigmenta. Bitni su vremenski periodi uzimanja uzoraka te načini mjerenja. Mlada biljka koja nije još razvila potpuni pigment, instrumentalnim mjerenjem dat će potpuno drugačije rezultate od biljaka koje su u punom cvatu. Biljke koje su na kraju životnog vijeka daju obično puno tamnije tonove. Ta završna faza je ovisna o vrsti biljke jer one starenjem mogu prijeći u potpuno tamne tonove. Neke od njih sušenjem "izbljeđuju" te će biti svjetlije. Ponašanje pigmenta u biljci ovisi o strukturi flore, podneblju, godišnjem dobu i sličnim faktorima.

Testiranjem uzoraka u procesu starenja došlo se do spoznaje da one gube vrijednosti pigmenta, postaju poroznije te vrlo često imamo pojavu pojačane pigmentacije ili depigmentacije na dijelovima flore.

2.1. Eksperiment starenja flore

Ovaj eksperiment napravljen je kako bi se otkrio najbolji način snimanja uzoraka flore. Razmatrale su se tri faze snimanja, a željela se postići stabilnost uzorka. Kako svježa flora ubiranjem vrlo brzo gubi pigment, htjelo se provjetriti koliko se sušenjem gubi na pigmentu, a da se pritom dobije postojaniji uzorak.

Za izvođenje eksperimenta odabrani su uzorci lišća drveta javora. Zbog godišnjeg doba u vrijeme kada je rađen eksperiment, jesen te fenomena prirode, na izabranom drveću proučavane su razne varijacije boja. Nijanse koje prevladavaju su zelena, žuta i crvena s raznim međufazama gdje postoje listovi koji su višebojni. Ovakvi uzorci su vrlo dragocjeni jer imaju istu strukturu i uvijete rasta, a raznolikost u bojama.

Za potrebe mjerenja uzorci su grupirani u tri kategorije prema bojama: zeleni, žuti i crveni list. Svaki od uzoraka mjeren je u tri faze. Kao prva faza mjerenja određeno je stanje tek ubranog lista. Uzorci su snimani na pet susjednih pozicija, za svaku poziciju mjerenja uzimana je prosječna vrijednost u tri točke. Između svake faze eksperimenta prošla su tri puna dana.

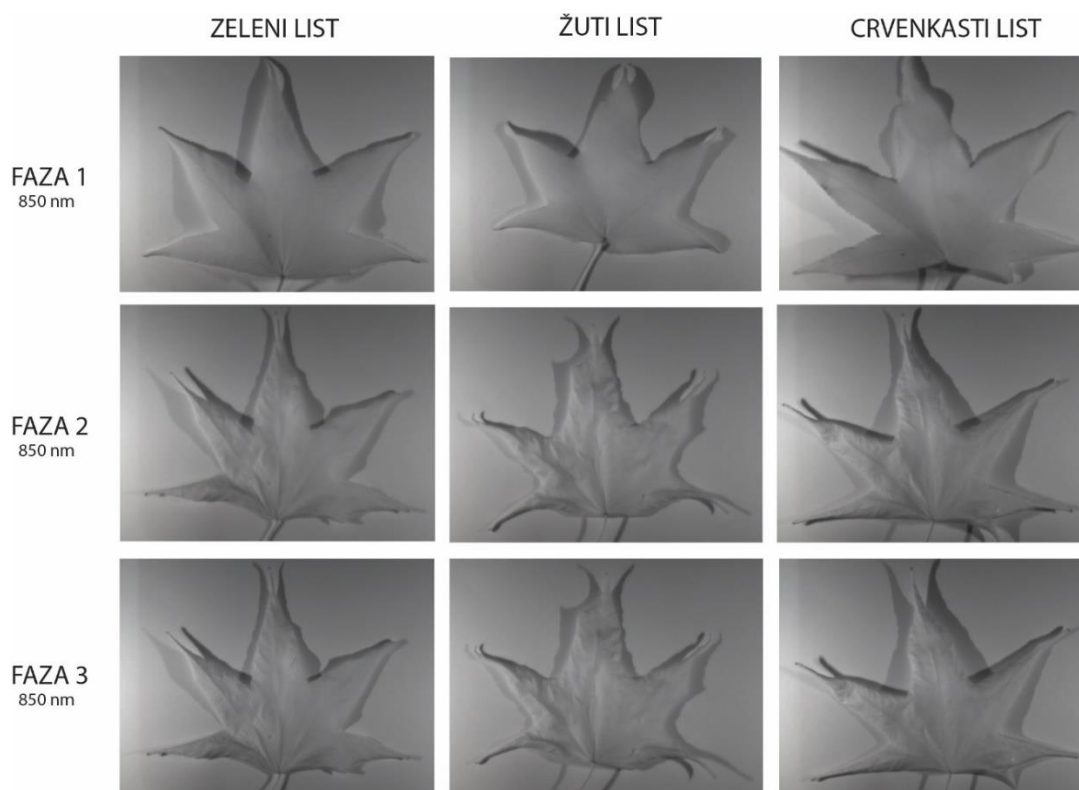
Snimanja su napravljena na uređaju za digitalnu forenziku Projectina Docucenter gdje su se mikroskopskim promatranjem precizno mogle odrediti točke snimanja.

Izolacija određenih dijelova lista važan je segment eksperimenta jer su žilice u listu nešto tamnije boje od samog „mesa“ lista te bi ukupne vrijednosti bile netočne.



Slika 1. Tri faze sušenja zelenog, žutog i crvenkastog lista drva javora

Na slici 1. vidimo starenje uzorka u tri faze. Kao uzorak je odabran list drveta javora zbog dojmive raznolikosti u bojama gdje se na istom stablu u isto vrijeme razaznaje i do pet različitih nijansi boja: tamnocrvena, svijetlocrvena, žuta, tamnozeleno i svijetlozeleno. Vidimo postepene promjene u nijansi na svakom uzorku potaknute prirodnim starenjem i sušenjem biljke na svježem zraku. Vidimo da uzorci postaju sve tamniji u fazi 2 i 3. Osim izgubljenog pigmenta, uzorak je izgubio i originalnu strukturu te je postao porozniji.



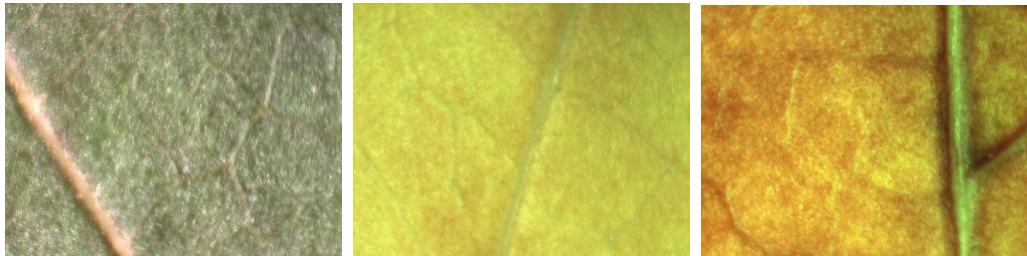
Slika 2. Tri faze sušenja zelenog, žutog i crvenkastog lista drva javora, u NIR području na 850 nm

Priložena je slika kroz faze i u NIR spektru kako bi se mogle pratiti promjene koje su moguće u ovom dijelu spektra. Na slici 2. primjećujemo da su uzorci u fazi 1 jednoličnih površina i slabo se naziru žilice te je on bijelji, što i jest specifičnost flore u NIR području. U drugoj fazi vidimo vizualno tamniju površinu sva tri uzorka. Starenjem su iz flore presušili sokovi zaduženi za procese fotosinteze iz čega biljke vuku pigmente i uzorak je za nijansu tamniji te je već u ovoj fazi znatno izgubio na fleksibilnosti i nije ga moguće u potpunosti ispraviti. U drugoj i trećoj fazi otežano je postavljanje uzoraka u uređaj i postavljanje scene za dokumentiranje uzoraka jer zbog svoje neravne i krhke strukture uzorci sami sebi prave sjenu koja se prilikom NIR snimanja pokušava izbjeći zbog prikupljanja što realnijih podataka o spektralnim vrijednostima flore u vidljivom i NIR području. U fazi 3 vidimo sličnu situaciju kao i kod faze 2 jer se većina sušenja kod ovako tankog dijela flore (lista) događa između prve i druge faze.

2.2. Mjerenje po fazama starenja uzorka

Prva faza mjerenja

U prvoj fazi mjerenja su napravljena na tek ubranim listovima. Oni sadržavaju puni prirodni pigment te nisu bili izloženi sušenju bilo kakve vrste. Promatrat će se sva tri uzorka lista paralelno jer podliježu istom testiranju obzirom na vremensku komponentu. Slike u produžetku daju mikroskopski uvid u strukturu pojedinog uzorka. Postavljeni su redoslijedom: zeleni, žuti i crveni uzorak, s lijeva na desno.



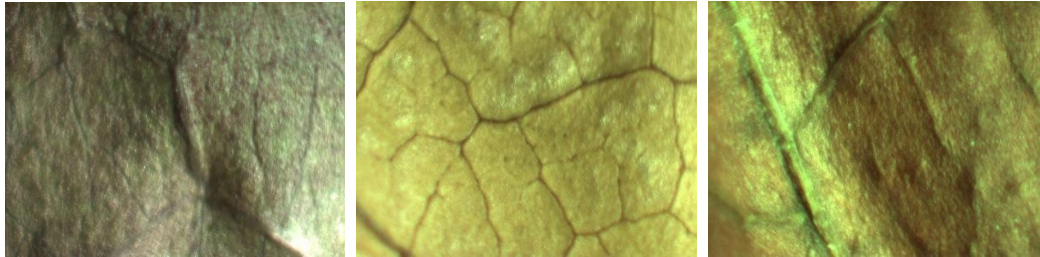
Slika 3. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, faza 1 (1. dan sušenja)

Na slici 3. možemo vidjeti uvećani segment uzorka zelenog, žutog i crvenkastog lista. Primjećujemo da je uzorak svjež, boja se lijepo razaznaje te možemo uočiti da su male žilice lista slabije vidljive, osim glavnih, velikih žila koje su uvijek vidljive. Instrumentalnim mjerenjem u ovoj fazi dobivamo najvjernije podatke o spektralnom sastavu uzorka jer uzorak sadržava puni pigment.

Prikazano mikroskopsko snimanje uzorka uvelike pomaže pri odabiru područja spektroskopskog snimanja jer s preciznošću možemo odrediti područje koje je “čisto”, bez depigmentacije, mrlja i žilica. Mikroskopski prikaz bitan je u fazi 2 i 3 snimanja kad dolazi do vizualnog mijenjanja snimanog područja, kao i težeg pozicioniranja i podešavanja lupe na definiranu točku mjerenja.

Druga faza mjerenja

U drugoj fazi spektroskopskog mjerenja snimaju su uzorci u procesu sušenja. Uzorci su sušeni na sobnoj temperaturi. Na uzorku se u ovoj fazi vide promjene u fleksibilnosti. Sušenjem uzorak postaje porozniji te dolazi do promjene u nijansi. Uzorak lista sušenjem blijedi.

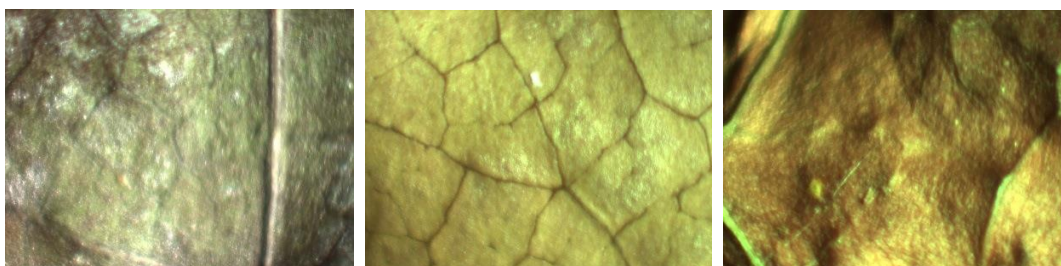


Slika 4. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, faza 2 (3. dan sušenja)

Na slici 4. možemo vidjeti uvećane segmente uzoraka koji su tri dana u procesu sušenja te je ta sekvenca mjerenja nazvana faza 2. Primjećujemo velike vizualne promjene u odnosu na uzorke na slici 3. Na svakom snimanom segmentu vidimo da je pigment izgubio vrijednost i da postoji razlika u boji u odnosu na svježi uzorak. Osim pigmenta, velika razlika je u vidljivosti malih žilica koje su u ovoj fazi potamnjele te su u potpunosti vidljive duž cijelog lista. Mikroskopski prikaz prilikom snimanja u ovoj fazi vrlo je bitan za dobivanje točnih spektralnih vrijednosti jer se biraju i snimaju samo područja koja su “čista”.

Treća faza mjerenja

U fazi 3 na uzorcima se primjećuje da sušenjem dolazi do potpune promjene boje na žilicama lista. One postaju tamnije te su u ovoj fazi potpuno vidljive golim okom. Ukupno uzorak je i vidljivo tamniji. Uzorak je u ovoj fazi star sedam dana.



Slika 5. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, faza 3 (7. dan sušenja)

Kod faze 3 koju vidimo na slici 5. primjećujemo da se uzorak lista u potpunosti osušio jer se pri slikanju uvećanih segmenata ne može izbjeći efekt odsjaja koji se stvara odbijanjem zraka svjetlosti od suhe (glatke) površine uzorka. Vizualno razlika između faze 2 i 3 nije toliko velika, ali ipak dolazi do malih promjena koje se zamjećuju instrumentalnim mjerenjem CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti.

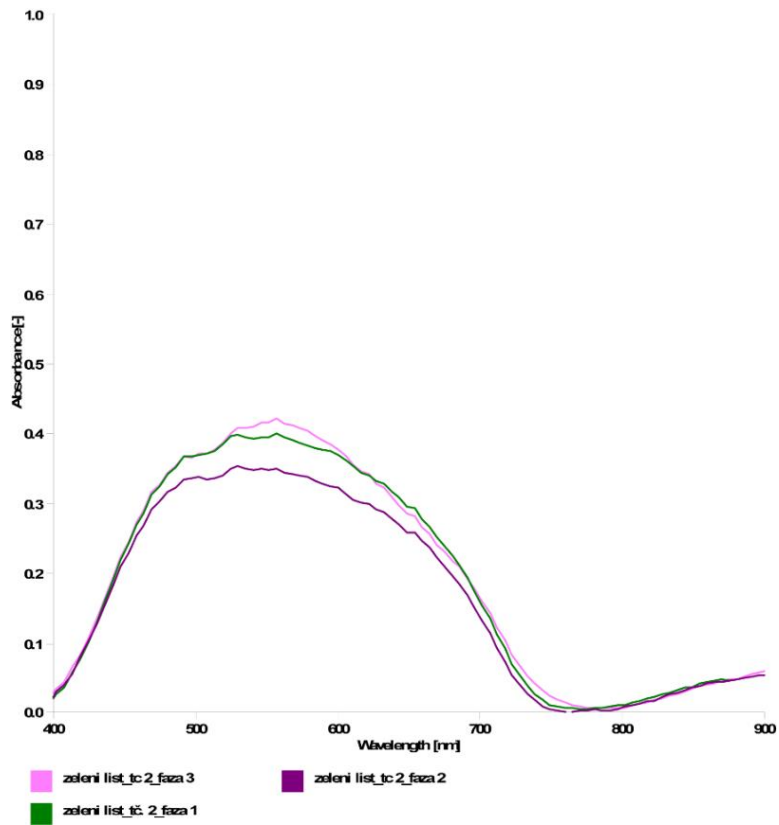
Sva snimanja za ovaj eksperiment napravljena su pod istim uvjetima, uz prethodnu kalibraciju prema podlozi. Kao podloga uzet je bijeli 80g/m² papir koji nije mijenjan kroz cijeli proces mjerenja.

2.3. Spektrogrami mjerenih uzoraka

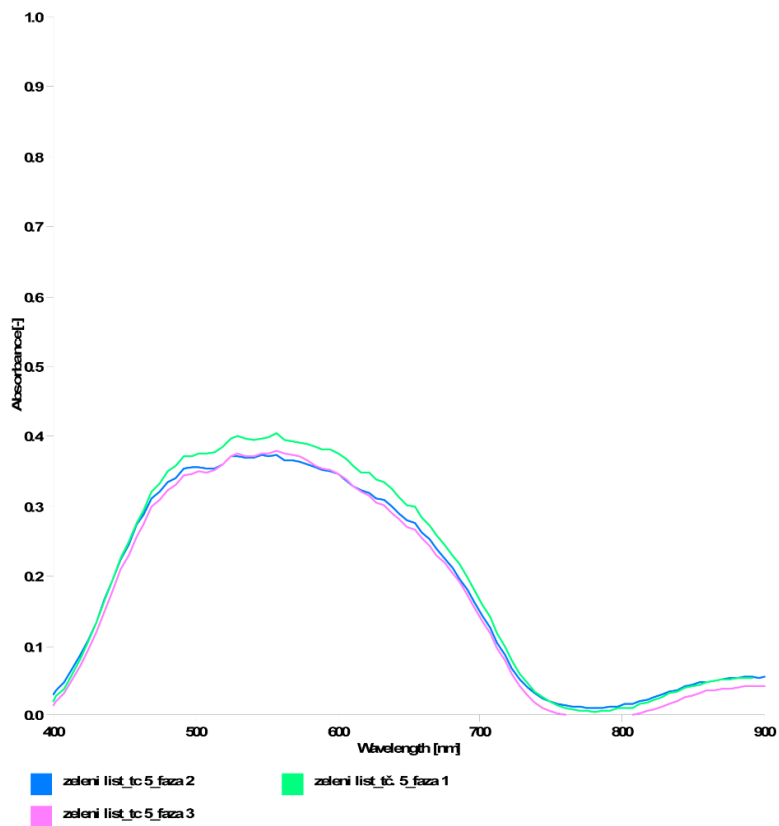
Spektroskopskim uređajem izmjerene su tri faze na svakom uzorku, a dobiveni spektrogrami daju uvid u promjene koje se događaju starenjem, odnosno, sušenjem flore. Zbog lakšeg praćenja faza za određeni uzorak na spektrograme su spojena mjerenja prema vrsti uzorka.

Zbog preciznosti mjerenja uzorci su podijeljeni na segmente. Svaki list se sastoji od pet dijelova koji se mjere. Time smo lokalizirali sektor mjerenja za preciznije rezultate. Svaki sektor se mjeri tri puta. Za potrebe rada prikazane su po dvije točke svakog izmjenjenog uzorka.

U sljedećim koracima će se prikazati i opisati svaki od spektrograma od početka faze 1 eksperimenta pa sve do završne, faze 3 eksperimenta.



Graf 1. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista javora u tri faze, točka 2

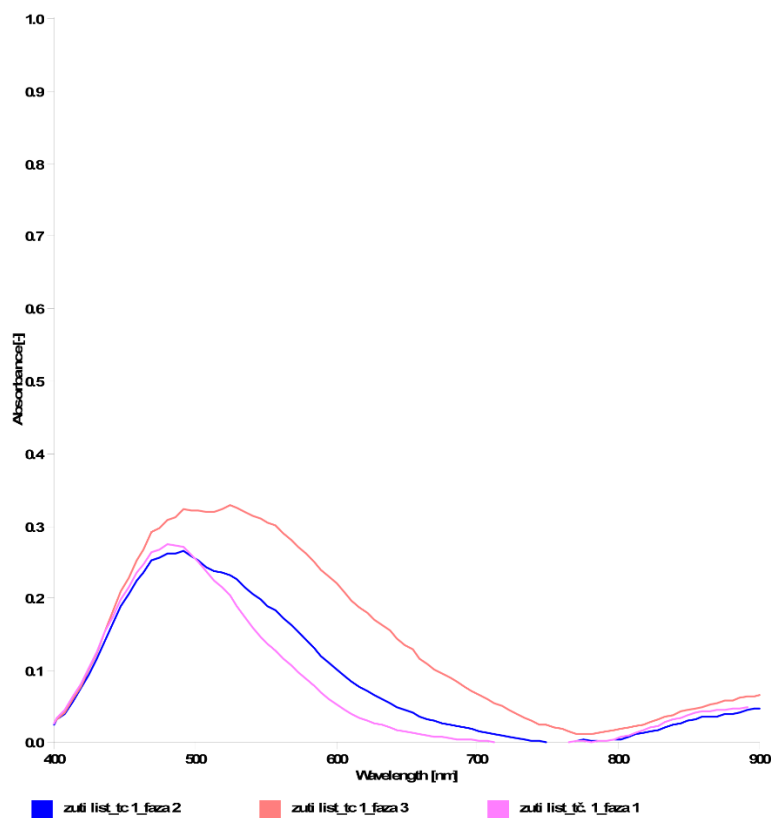


Graf 2. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista javora u tri faze, točka 5

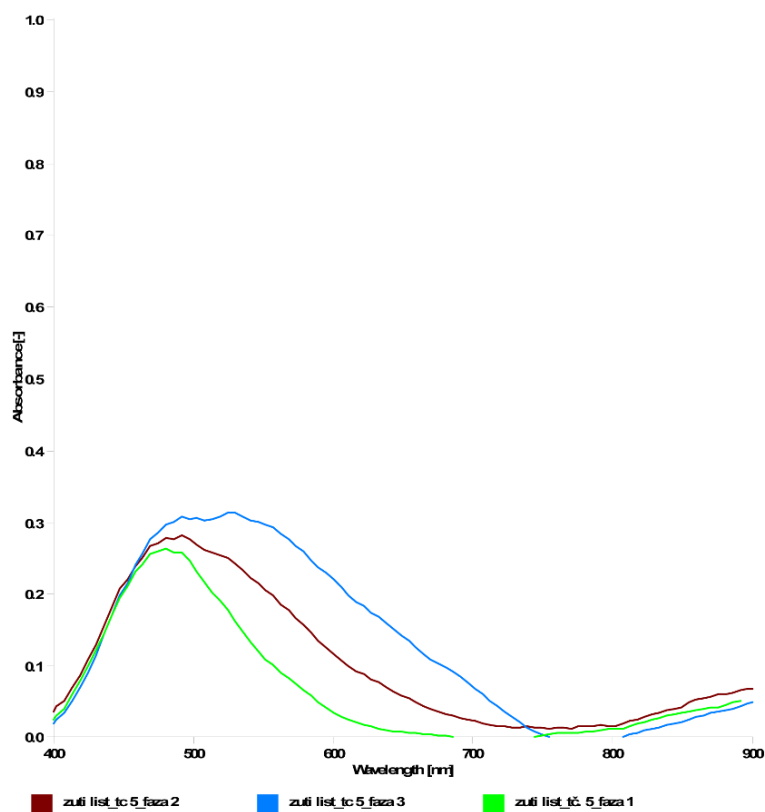
Na prvom grafu prikazana je izmjerena vrijednost zelenog lista u 2. točki mjerenja. Prvu fazu predstavlja crvena krivulja, drugu fazu zelena krivulja dok je treća faza prikazana krivuljom plave boje. U vidljivom području primjećuje se veće odstupanje prve krivulje s obzirom na druge dvije krivulje koje predstavljaju drugu i treću fazu mjerenja. Takav rezultat mjerenja na grafu 1 je očekivan s obzirom da se primjećuje veća promjena pigmenta između faze 1 i 2 nego u intervalu snimanja faze 2 i 3.

Drugi graf predstavlja petu točku mjerenja gdje primjećujemo nešto manja odstupanja u vrijednostima. Prva faza pete točke odstupa najviše u vidljivom dijelu, kao i kod grafa 1., dok u NIR dijelu spektra gotovo nema odstupanja u 1. i 2. fazi, već samo kod krivulje 3. faze zapažamo odstupanje. Isti obrazac ponašanja bio je vidljiv na grafu 1., gdje je suhi uzorak (3. faza) jedini imao odstupanja u NIR dijelu spektra, s obzirom na krivulju faze 1. i 2. koje se gotovo savršeno poklapaju nakon 750 nm.

Prema krivuljama vidimo da se nijansa uzorka mijenja ovisno o starenju uzorka. Osim u vizualnom, što je vidljivo na slici 1, ona se mijenja i u NIR području koje je i primarno područje promatranja ove disertacije.



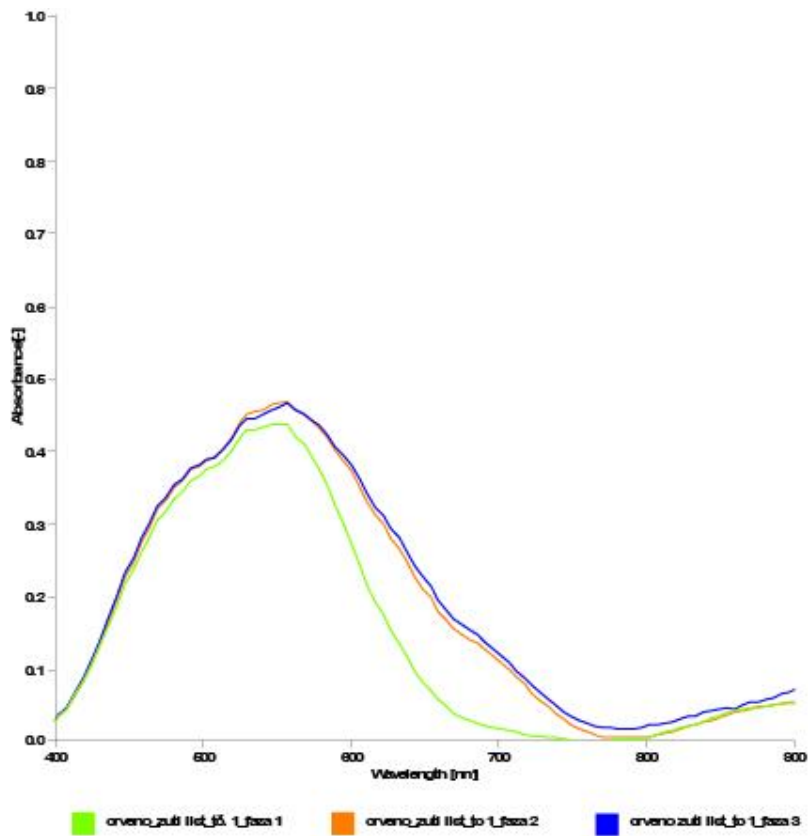
Graf 3. Spektrofotometrijsko mjerjenje uzorka žutog lista javora u tri faze, točka 1



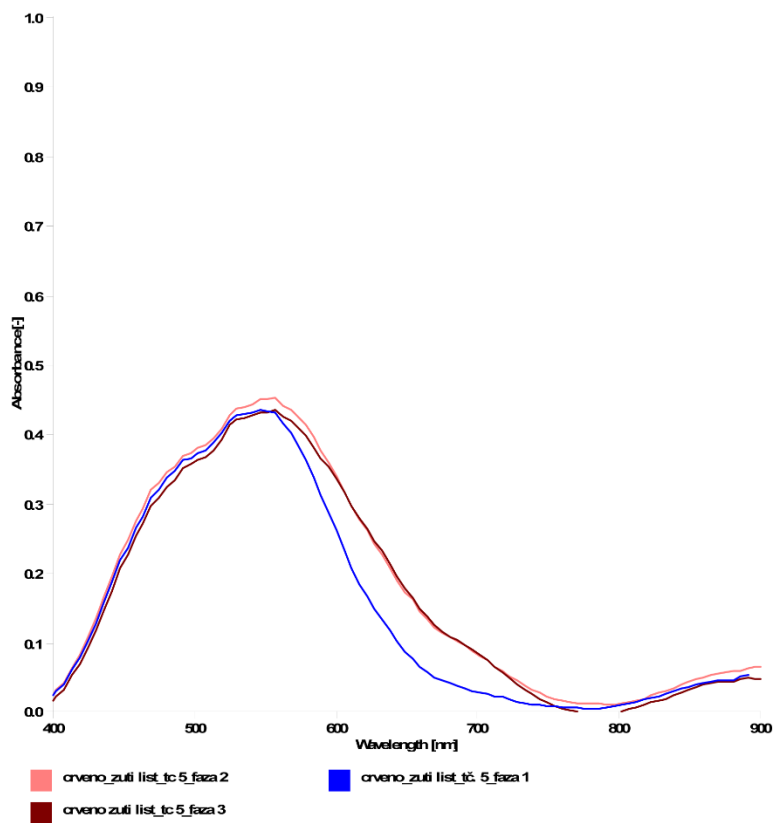
Graf 4. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka žutog lista javora u tri faze, točka 5

Grafovi 3. i 4. prikazuju točku 1 i 5 žutog lista. Na grafu 1., točka 1 vidimo značajno odstupanje u vizualnom dijelu od prve, početne faze dok je uzorak bio svjež pa do zadnje faze sušenja. U slučaju žutog lista došlo je do tolike razlike među fazama da nema preklapanja ni u fazi 2 i 3, što je vidljivo kod uzorka zelenog lista. U NIR području naročito se očituju razlike između faze 2 i 3.

Kod drugog grafa vidimo vrlo proporcionalnu razliku u vidljivom dijelu spektra. Između zelene krivulje (faza 1) i smeđe krivulje (faza 2) uočava se gotovo jednako odstupanje kao između smeđe i plave krivulje (faza 3). Možemo zaključiti da je žuti pigment puno stabilniji od zelenog, odnosno da sporije gubi vrijednosti pigmentata. U NIR području se također očituje razilaženje između svih faza dok je značajnije razilaženje između druge i treće faze.



Graf 5. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crvenožutog lista javora u tri faze, točka 1



Graf 6. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crvenožutog lista javora u tri faze, točka 5

Grafikoni crvenožutog lista prikazuju manje odmake u vrijednostima što se očituje manjim razmacima između krivulja u NIR području s obzirom na starost uzorka. Na oba grafa vidimo da prva faza mjerenja najviše odskače te da se starenjem boja u listu stabilizira, odnosno, ne gubi na vrijednosti drastično.

2.4. Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti refleksije uzorka

Mjerenja su napravljena denzitometrom X-Rite SpectroEye. Navedenim uređajem praćene su vrijednosti koje smo ranije dobili na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 sa softverom PIA 7000. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Denzitometrijska mjerenja sušenja uzoraka po fazama

DENZITOMETARSKA MJERANJA

L*a*b*

ŽUTI LIST				CRVENO-ŽUTI LIST				ZELENI LIST			
	1. faza	2. faza	3. faza		1. faza	2. faza	3. faza		1. faza	2. faza	3. faza
	1. tč.	1. tč.	1. tč.		1. tč.	1. tč.	1. tč.		1. tč.	1. tč.	1. tč.
L*	76.76	69.66	63.00	L*	39.68	41.63	43.95	L*	39.59	41.82	36.51
a*	9.87	10.10	15.50	a*	43.81	29.46	26.62	a*	-7.43	-2.7	-3.41
b*	63.54	36.53	34.81	b*	19.3	11.42	13.82	b*	18.53	14.61	15.06
	2. tč.	2. tč.	2. tč.		2. tč.	2. tč.	2. tč.		2. tč.	2. tč.	2. tč.
L*	74.23	72.45	63.20	L*	40.88	36.93	33.77	L*	38.87	40.74	44.03
a*	13.70	10.52	12.27	a*	43.68	29.13	27.13	a*	-7.76	-1.94	-4.27
b*	60.50	40.17	31.69	b*	18.10	7.83	6.65	b*	18.79	17.65	20.56
	3. tč.	3. tč.	3. tč.		3. tč.	3. tč.	3. tč.		3. tč.	3. tč.	3. tč.
L*	76.14	64.74	65.26	L*	34.96	34.92	43.20	L*	39.5	39.86	39.02
a*	11.71	10.54	13.51	a*	34.96	25.03	25.85	a*	-8.07	-2.78	-5.74
b*	63.69	37.96	32.18	b*	12.62	7.5	11.97	b*	19.45	16.73	15.57
	4. tč.	4. tč.	4. tč.		4. tč.	4. tč.	4. tč.		4. tč.	4. tč.	4. tč.
L*	76.71	62.10	66.50	L*	38.60	32.69	44.24	L*	38.52	39.09	39.17
a*	10.35	11.58	16.22	a*	43.07	22.46	25.26	a*	-6.41	-2.59	6.20
b*	62.71	35.60	32.04	b*	17.8	6.93	13.14	b*	19.48	17.52	20.78
	5. tč.	5. tč.	5. tč.		5. tč.	5. tč.	5. tč.		5. tč.	5. tč.	5. tč.
L*	73.48	62.21	66.21	L*	40.96	45.09	43.83	L*	39.60	43.44	43.05
a*	13.87	14.52	15.64	a*	45.42	21.8	23.51	a*	-8.57	-4.79	-52.79
b*	59.79	37.58	35.00	b*	19.27	12.74	12.98	b*	19.57	19.22	16.81

Tablica 1. prikazuje denzitometrijske vrijednosti refleksije uzoraka. Vidimo svih pet izmjerenih točaka na svakom od uzoraka. Točke mjerenja 4. i 5. na uzorku zelenog lista (graf 1. i 2.) s obzirom na denzitometarska mjerenja možemo primijetiti da sušenjem dolazi do povećanja L* komponente.

Kod grafa 3. i 4. vidimo točke 1. i 5. na uzorku žutog lista, gdje se komponenta L* smanjuje. Dok je kod grafa 4. i 5., koji prikazuju 1. i 4. točku mjerenja crvenožutog lista, vidljivo

drugačije ponašanje spektralnih komponenti pa kod točke 1 vidimo povećanje L^* komponente, a kod izabrane točke 4. najmanja vrijednost L^* je u 2. fazi mjerenja.

2.5. Ograničenja uređaja za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter

Prvobitno se razmatralo da bi bilo najbolje snimati živu floru, no zbog prostornog ograničenja mjernog sektora u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku, kao što vidimo na slici 5., nije moguće snimati živu floru pa je i u tu svrhu rađen eksperiment sušenja flore kojim smo dobili vrijedne rezultate i smjernice na koji način pristupiti samom mjerenju uzoraka.



Slika 6. Lijevo: Limun u svom prirodnom obliku, desno; segment limuna spreman za mjerenje

Fina optika ugrađena u navedeni uređaj podešena je za snimanje manjih uzoraka pa su eksperimenti kod snimanja većih uzoraka u svom prirodnom obliku neuspjeli. Sva snimljena flora prilagođena je uređaju s posebnom pažnjom da se na najbolji mogući način očuvaju izvorna svojstva uzorka.

2.6. Zaključak eksperimenta starenja flore

Nakon izvedenog eksperimenta sušenja odlučeno je da će se ipak koristiti friško ubrana flora kako bi pigment ostao u potpunosti sačuvan. Možemo zaključiti da je za potrebe ovoga doktorskog rada korištena svježa flora u srednjoj fazi razvoja, odnosno u punom cvatu kako bi se iskoristio puni potencijal pigmenta koji biljka sadrži. Snimanjem svježe flore vrijednosti iz

prirode ostale su gotovo nepromijenjene te se svježim uzorkom osigurava očuvanje flore od sušenja, kako ne bi pigmenti sušenjem izgubili intenzitet, odnosno nijansu. Uz to možemo zaključiti da je žuti pigment dosta postojaniji od druga dva uzorka. Dok su zeleni i crvenožuti uzorak već u drugoj fazi dostigli maksimalnu vrijednost propadanja pigmenta te je za ova dva uzorka u fazi tri došlo do minimalnog pomaka krivulje, žuti uzorak je u eksperimentu imao postepeni i gotovo proporcionalni pad pigmenta s obzirom na dane sušenja uzorka. Možemo zaključiti da se žuti pigment u uzorku pokazao postojaniji od zelenog i crvenožutog.

Možemo zaključiti i da su zeleni i crvenožuti uzorak postigli stabilnost već nakon trećeg dana sušenja dok je žuti tek stabilnost postigao nakon sedam dana sušenja. Eksperimentom se spoznalo da je za potrebe rada relevantniji podatak o očuvanju pigmenta uzorka, nego stabilnost samog uzorka.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada počinjemo od projektiranja blizanaca bojila kao nadogradnju INFRAREDESIGN® tehnologije kreiranjem blizanaca za realnu reprodukciju flore u dva spektra. Za definiranje blizanaca koristit će se programsko rješenje za izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila te će se pomoću njega spektrofotometrijski pratiti kolorimetrijska razlika u boji između dva blizanca kroz sve eksperimentalne iteracije. Kroz programsko rješenje za višestruko praćenje boje flore u dva spektra određivat će se koraci pomaka za svaku sljedeću iteraciju, a time i preciznije pratiti proces. Kad smo definirali sve parametre i tehnologiju koja sudjeluje u procesu, pristupa se eksperimentalnom mjerenju jednakosti dviju boja preko spektrograma i ΔE vrijednosti, gdje će se za svaki testni list blizanca bojila određivati kolorimetrijska razlika između blizanaca te korak pomaka uz pomoć ranije spomenutih programskih rješenja. Kada se razlika u boji svakog blizanca svede na željene vrijednosti uz preklapanje spektrofotometrijskih krivulja i dobro vizualno poklapanje, pristupa se mjerenju uzoraka žive flore. Mjerit će se četiri uzorka uzeta iz prirode te će se prikupljati informacije o apsorpciji flore za izvođenje realne reprodukcije flore. Kada definiramo točne vrijednosti mjerenjem uzoraka kreće faza reprodukcije. Izvođenje dualne fotografije zahtjeva nekoliko predradnji koje standardna reprodukcija ne poznaje, pa se u proces, osim uobičajenih radnji ugrađuju dodatni segmenti kojima upravljamo s ciljem realne reprodukcije flore.

Problematika definiranja dvostruke slike u vidljivom i NIR području spektra se proširuje i nadopunjava unaprijeđenim sustavom za upravljanje bojama. Slika u NIR dijelu spektra sastavni je dio slike u vidljivom spektru te one podliježu istom tretmanu. Izvodi se akromatska redukcija koja podrazumijeva UCR/CCR funkciju, određivanje parametara i krivulje crnog izvotka, koja nije ugrađena u reprodukciju za vidljivo područje. [23]

Kao unaprijeđenje INFRAREDESIGN® tehnologije kreirat će se matematički model za spajanje dviju fotografija u vidljivom i blisko infracrvenom spektru koji vjerodostojno simulira sve međutonove iz novih blizanaca bojila dobivenih mjerenjem flore u spektralnom području od 400 do 1000 nm. Osim matematičkih modela za spajanje slike postoje matematički modeli za dizajniranje rasterskih ćelija koji isto predstavljaju dio INFRAREDESIGN® tehnologije te su mnoga otkrića napravljena u tom području znanosti [24, 25].

3.1. Eksperimentalno projektiranje blizanaca bojila za proširenje INFRAREDESIGN® tehnologije

Prilikom pripreme slike za vidljivo područje vodilo se zakonitostima koje su definirane sustavom za upravljanje bojom za vidljivo područje. One su unaprijed definirane, a praćenje parametara vodi do uspješne reprodukcije u vidljivom spektru. Kako je upravljanje bojom u svojoj osnovi prilagođeno i povezano s vidljivim dijelom spektra, kod slike koja se priprema za NIR područje ne postoje definirani parametri te se nizom eksperimenata pokušava ustanoviti najpogodniji način pripreme koja će vrijediti za sve slike u NIR području. Priprema slike u NIR području ne podržava standardno akromatsko podešavanje, već se bazira na akromatskoj redukciji osnovnih CMY pokrivenosti uz karbon crnu.

Blizanci bojila su proizvedeni kao dio INFRAREDESIGN® tehnologije, u vizualnom dijelu spektra blizanaca su jednaki dok do razdvajanja spektralnih krivulja dolazi nakon 700 nm. Razlika između blizanaca se stabilizira kod 850 nm. Kvalitetu bojila za sigurnosni tisak provjeravamo preko njihovih spektralnih dijagrama po kriterijima za određivanje familije blizanaca boja. [13]

3.1.1. Izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila pomoću programskog rješenja

Program za izvođenje i vizualno praćenje blizanaca razvijen je s grafičkim programskim jezikom PostScript kao dio INFRAREDESIGN® tehnologije [26]. PostScript je poznat kao alat u grafičkoj industriji kojim se programiraju predlošci za tisak te je time i logičan izbor pri izvođenju ovakvog eksperimenta [27]. Eksperiment uključuje kombiniranje različitih tehnologija, PostScript skriptnog jezika i Adobe Photoshop grafičkog programa. PostScriptom kontroliramo mjerene komponente, a u Adobe Photoshopu se izvodi instrumentalna usporedba i odabir najboljeg i originalu najsličnijeg rezultata. Na taj način se može pratiti tijek eksperimenta te uvrštavati izmjene koje su potrebne kako bi dobili željeni rezultat. Praćenje rezultata se uvijek izvodilo na istom monitoru pod istim uvjetima kako bi oni bili što precizniji. Programsko rješenje pruža opciju parcijalnog utjecaja na CMYK komponente mijenjanjem postotaka svake procesne boje posebno za vidljivo i NIR područje [28].

Prvenstveno je bilo bitno napraviti testiranja uređaja na kojima se radi istraživanje, čime se osigurao precizan razvoj eksperimenta s točnim rezultatom. Važno je bilo definirati proces

testiranja te ga zatim i izvesti po točnim parametrima prema kojima su se kasnije izvodila mjerenja i za glavni dio eksperimenta, spajanje dviju slika različitog spektralnog odaziva u jednu [29].

Informacije o točnim vrijednostima boje za potrebe testiranja očitane su u grafičkom programu Adobe Photoshopu gdje digitalnom pipetom možemo očitati vrijednosti za pojedini piksel. Navedeni grafički program prethodno je postavljen da preračunava sve vrijednosti boja s C, M i Y komponentama dok ja za K definirana 0 [4]. Time je postavljena boja za vidljivo područje spektra. Podešavanjem CMY komponenata iz odabranih testnih vrijednosti boja iz prirode početno se radilo usklađivanje blizanaca definiranjem CMYKmax vrijednosti. Podešavanjem početnog blizanca tako dobivamo vrijednosti za CMYK=0 i CMYKmax , odnosno, za vidljivo i NIR područje te je on nazvan nulti blizanac, iz kojeg će se za određenu boju nadalje izvoditi iteracije.

Programskim rješenjem je postignuto da dvije boje različitog spektra spojimo u jednu sliku, a samo spajanje slika iz vidljivog i NIR spektra formirale su se slike s dualnim karakterom koje službeno nazivamo blizanci bojila [30].

3.1.2. Višestruko praćenje boje flore u dva spektra u svrhu proširenja INFRAREDESIGN[®] tehnologije za prikaz flore uz pomoć programskog rješenja

Reprodukcija tiskom pokriva što je zabilježeno u vidljivom i NIR dijelu spektra. Kako priroda ima vlastiti blisko infracrveni sadržaj, cilj ovog doktorskog rada bio je da i grafička reprodukcija ima NIR sadržaj kao što je snimljeno u prirodi.

Iteracija svakog izvedenog blizanca bojila promatrala se i mjerila u istim uvjetima kao original, flora. Bilježila su se sva odstupanja između originala i otiska te su na temelju dobivenih vrijednosti prilagođavane eksperimentalne iteracije blizancima bojila.

Za prilagođavanje i proučavanje nijansi pojedine boje upotrijebljen je grafički program Adobe Photoshop gdje se eksperimentalnom metodom može precizno manipulirati postotnim vrijednostima svake boje te simultano pratiti mijenjanje parametara vizualnom procjenom.

Adobe Photoshop je odličan alat za izvođenje eksperimenata ovoga tipa jer posjeduje softverske preduvjete za izvođenje složenih algoritamskih rješenja kreiranih u PostScript grafičkom programskom jeziku [26]. Korištenjem niza naredbi prilikom konstruiranja

algoritma, posebno definiranih za prikaz u Adobe Photoshop programu, dobivamo složen prikaz definirane boje uzorka flore u vidljivom i NIR spektru. Grafički prikaz rezultata za određenu iteraciju prikazuje 256 nijansi definirane boje generirane kroz petlju za prikaz nijansi s pomakom od 3%. Rezultat se zatim morao pažljivo promotriti kako bi aproksimativnom metodom definirali nijansu koja se najbolje preklapa s originalom.

3.2. Eksperiment mjerenja jednakosti dviju boja preko spektrograma i ΔE vrijednosti

Za dobar ishod eksperimenta prvenstveno je bilo bitno napraviti određena testiranja uređaja na kojima se radi istraživanje. Time se osigurao precizan razvoj eksperimenta s točnim rezultatom. Važno je bilo definirati proces testiranja te ga zatim i izvesti po točnim parametrima prema kojima su se kasnije izvodila mjerenja i za glavni dio eksperimenta. Testiranjem je razvijena točna procedura i redoslijed mjerenja jer je planirani eksperiment zahtijevao stupnjevito mjerenje u fazama, odnosno prema koracima i točnom redoslijedu. Osim testiranja uređaja koji sudjeluju u procesu razvijena je i točna procedura i redoslijed mjerenja jer je planirani eksperiment zahtijevao stupnjevito mjerenje u fazama, prema koracima i točnom redoslijedu. Definiran je svaki korak procesa mjerenja, a on je zahtijevao sljedeće:

- a) određene su testne boje za tablice boja uzetih iz prirode
- b) od izabranih boja formirani su početni blizanci bojila
- c) ovako izvedeni blizanci mjere se spektrofotometrom kako bi se prema spektrogramskim krivuljama moglo pratiti stanje određene boje
- d) računanje CIE $L^*a^*b^*$ za određivanje razlika između dvije iteracije vidljivog i NIR dijela spektra
- e) izvođenje programskog rješenja za izvođenje iteracijskih tablica za određivanje pomaka

3.2.1. Opis eksperimenta

Za potrebe eksperimenta napravljena su mjerenja na devedeset uzoraka boje iz prirode. Odabrane su mnoge boje i različite varijacije nijansi. Formirana je baza sa svim karakteristikama boje prema četiri različita sustava boja; HSB, RGB, CMYK i CMYKIR. Boje su organizirane u šest tekstnih skupina; AB1 Blizanci OKI, AB2 Blizanci OKI, AB3 Blizanci OKI, AB4 Blizanci OKI, AB5 Blizanci OKI i AB6 Blizanci OKI. Svaki od eksperimenata sadrži točno definirani broj boja izvedenih u vidljivom i NIR području spektra.

Prilikom pripreme eksperimenta uveo se način označavanja pojedinog eksperimenta. Svaki eksperiment se imenovao kraticom AB i pripadajućim indeksom od 1 do 6 s dodatkom „blizanci OKI“ da se naglasi da su izvedeni na OKI S5431 elektrofotografskom printeru. Eksperimentalni dio rada sadržavao je, između ostalog, testiranje blizanaca bojila te određivanje njihove razlike. Boje su uzete iz baze boja koja je formirana snimanjem boja iz prirode. Od devedeset boja izmjerenih za bazu boja formirano je šest testnih listova generiranih pomoću programa za ispis blizanaca. Svaki od šest testnih listova sadržava po petnaest blizanaca boje. U ovoj fazi formirani su “sirovi” blizanci te su odstupanja u nijansama velika, vidljiva su golim okom. Prilikom programskog generiranja blizanaca [31] neke od zadanih nijansi boje bile se vrlo slične te su se takvi blizanci uklonili kako bi bilo lakše pratiti razlike ispisane na grafovima dobivene mjerenjem spektrofotometrom.

Praćenje i opisivanje ponašanja blizanaca organizirano je da svaki testni list bude jedna testna cjelina koju zatim razlažemo na određeni broj blizanaca za različite faze testiranja, obično su udruživana po dva blizanca, no ponegdje je zbog optimalizacije prostora i vizualni prikaz graf formiran od tri blizanca te sadržava šest spektrofotometrijskih krivulja.

Provjeru kolorimetrijske razlike između boja radit će se preko CIE $L^*a^*b^*$ formule. Gdje želimo postići da je vrijednost ΔE manja od tri. Pritom ćemo koristiti već poznatu formulu za otkrivanje razlike u boji Delta E 76 [15, 16]:

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

Za potrebe ovoga rada napravili smo prilagodbu poznate Delta E 76 formule za definiranje kolorimetrijske razlike između boja na način da smo u formulu uvrstili obilježja V i NIR koji označavaju poziciju za vidljivu i blisko infracrvenu informaciju o boji u samoj formuli. Time smo personalizirali pristup računanju Delta E blizanaca bojila.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_{NIR}^* - L_V^*)^2 + (a_{NIR}^* - a_V^*)^2 + (b_{NIR}^* - b_V^*)^2}$$

CIE L*a*b* vrijednosti apsorpcije originala uspoređivale su se sa svakom eksperimentalnom iteracijom čime se postigla potpuna preciznost pri ocjenjivanju rezultata. Najbitniji segment ovog dijela mjerenja je iz dobivenih CIE L*a*b* vrijednosti pomoću formule ΔE^*_{ab} izračunati ΔE za svaki uzorak, čime postizemo potpunu preciznost pri ocjenjivanju rezultata i grafičke reprodukcije. Nastojanja su dobiti informaciju o minimalnom ΔE između originala i reprodukcije.

Ekperimentalne iteracije AB blizanci OKI:

- AB1 blizanci OKI
- AB2 blizanci OKI
- AB3 blizanci OKI
- AB4 blizanci OKI
- AB5 blizanci OKI
- AB6 blizanci OKI

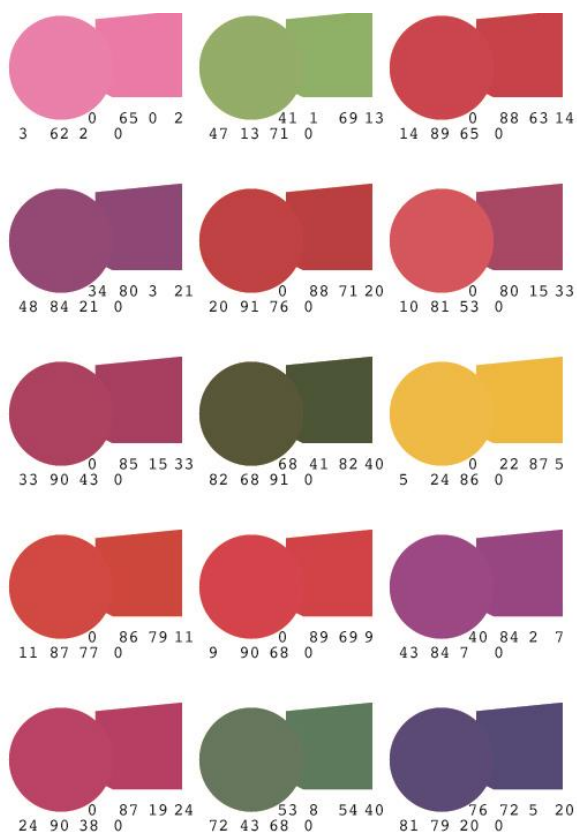
Za potrebe prikaza tijeka mjerenja i izjednačavanja vrijednosti dviju boja uzet je prvi testni list AB1 blizanci OKI, dok će svi ostali rezultati ovog eksperimenta bit prikazani u poglavlju Prilozi u formi tablice Baza podataka svojstva apsorpcije uzorka flore.

Dijeljenje promatranih boja na šest testnih listova uvjetovano je programom za izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila gdje je definirano da u jednom prolazu prikazuje petnaest blizanaca bojila kako bi svi stali na papir formata A4.

3.2.2. Eksperiment AB1 blizanci OKI

Prvo testiranje nazvano AB1 Blizanci OKI testira boje od pozicije 1 do 15 iz baze boja. Iz testiranja su izbačene tri boje istih nijansi te je izabrano dvanaest od petnaest prvo određenih boja.

Stanje boja prije prve iteracije je u “sirovvoj” fazi, odnosno svaka boja je digitalnom pipetom očitana te INFRAREDESIGN® tehnikom napravljeni prvi blizanci.

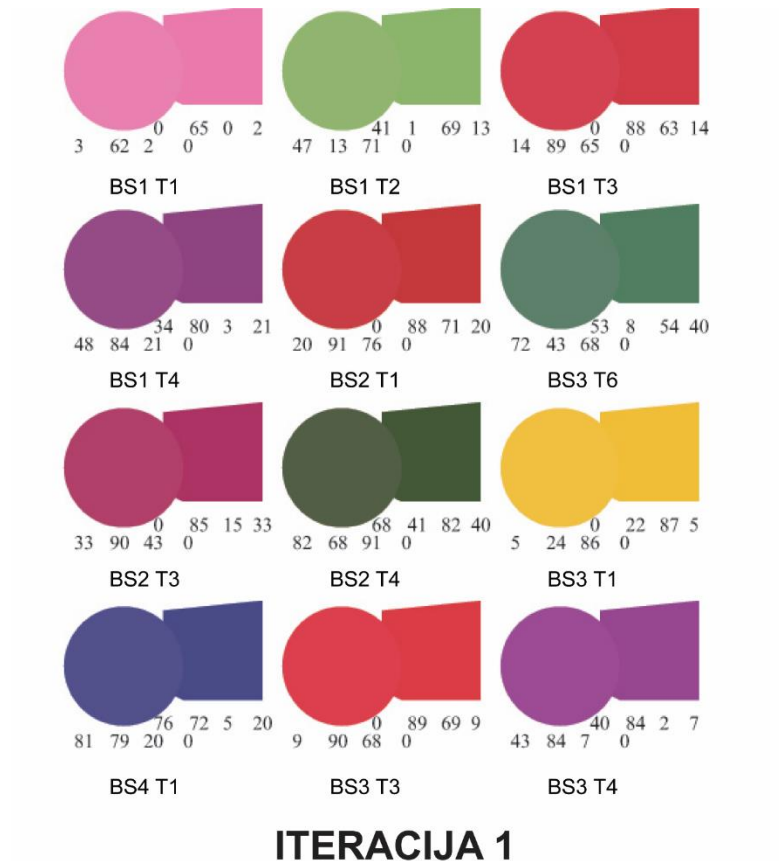


Slika 7. AB1 Blizanci OKI, prva faza, 15 boja

Programsko rješenje za izvođenje i vizualni prikaz blizanaca boja služi za spektroskopsko snimanje svih blizanaca s jednog testnog lista odjednom jer u istom prolazu ispisuje sve zadane blizance u toj seriji.

Svaki testni list kreiran je iz boja koje su uzete iz prirode pomoću ZRGB kamere. Iz velike autoričine zbirke fotografija dokumentiranih tijekom godina izabrano je nekoliko te se time formirala baza boja. U nastavku su prikazane fotografije koje su upotrijebljene za formiranje prvog testnog lista AB1 blizanci OKI.

Prva iteracija



ITERACIJA 1

Slika 8. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Svaki testirani blizanci imaju šifru kojom je blizanac povezan s bazom boja, preciznije sa slikom i točno određenim područjem na slici odakle je boja preuzeta, opisano u poglavlju Prilozi.

Analiza rezultata za 1. iteraciju

Testirano je puno boja, prva dva blizanca provedena kroz eksperiment su blizanci BS1 T1 i BS1 T2 s testnog lista AB1 BLIZANCI OKI. BS1 T1 blizanac je ružičaste boje, a blizanac BS1 T2 je zelene boje. Makar su blizanci u prvoj, “sirovjoj” fazi testiranja, ovi blizanci su poprilično dobro ručno određeni u grafičkom programom Adobe Photoshopu. Pretpostavka je kod ovakvih primjera blizanaca da neće biti potrebno puno iteracija kako bi se boje izbalansirale te kako bi se razlika boje svela ispod tri.

Na slici 8. prikazano je prvo stanje blizanaca generiranih pomoću programa. U ovoj fazi se između vidljivog i NIR dijela inače vidi dosta odstupanja, no kako je ranije navedeno, na ovim blizancima napravljena je vrlo dobro izjednačavanje boja INFRAREDESIGN teorijom te su boje u vidljivom dijelu vrlo slične onima definiranim za NIR dio blizanca bojila.

Blizanci BS1 T1 i BS1 T2

Blizanac BS1 T1 u vidljivom dijelu (3, 62, 2, 0 CMYK) za nekoliko nijansi je svjetliji od boje pripremljene za NIR dio (0, 65, 0, 2 CMYK) te će prilikom otiskivanja velikih punih površina kod ovog blizanca ipak doći do izbijanja NIR informacija, iako se radi o manjim odstupanjima u nijansi. Kako bismo to spriječili i postigli najbolju reprodukciju sa skrivenom informacijom u bojama iz prirode, nastojali smo postići što manji delta E. CIE L*a*b*.

Vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1 T1 V} = 80.205, 23.363, -10.006$$

$$L^*a^*b^*_{BS1 T1 NIR} = 78.104, 24.460, -12.112$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca, koja iznosi:

$$\Delta E_{BS1 T1 V - NIR} = 3.171$$

Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1 T1 V - NIR}$ za blizanca BS1 T1 vrijednost kolorimetrijske razlike između vizualnog i NIR dijela je 3.171. To znači da će se ovaj blizanac morati malo korigirati bez obzira na dobro vizualno poklapanje boje ta dva područja blizanca BS1 T1.

U slučaju blizanca BS1 T2 imamo izuzetno dobro preklapanje za tek izvedenu "sirovu" boju. Primjećujemo malo svjetliju nijansu boje u vidljivom dijelu (47, 13, 71, 0 CMYK) blizanca od one reproducirane za NIR dio (41, 1, 69, 13 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1 T2 V} = 80.098, -5.648, -7.880$$

$$L^*a^*b^*_{BS1 T2 NIR} = 78.120, -5.716, -9.033$$

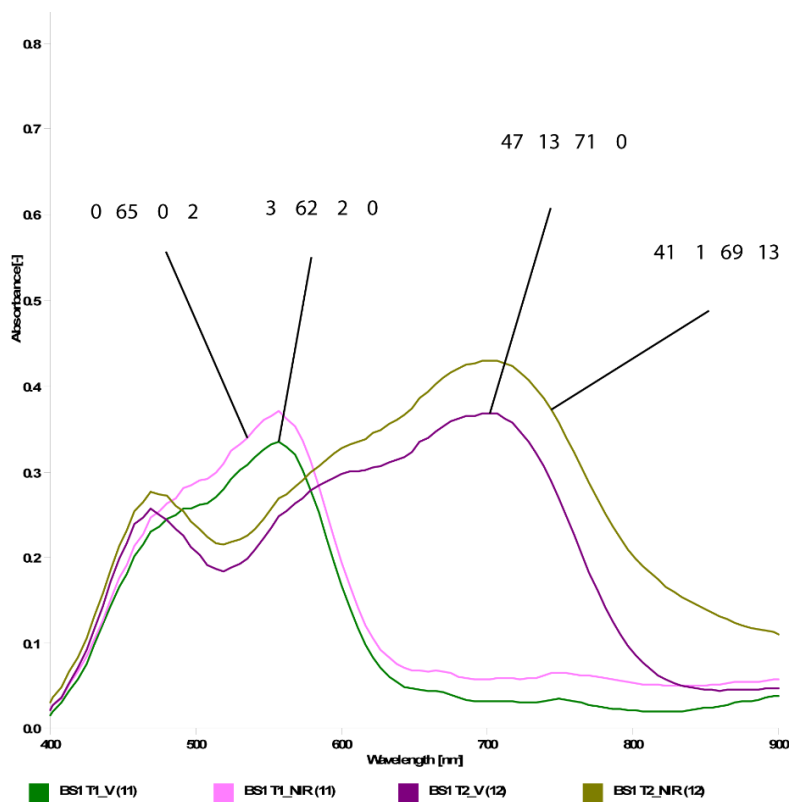
Iz zadanih vrijednosti izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1 T1 V - NIR} = 2.291$$

Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1 T1 V - NIR}$ za blizanca BS1 T2 vrijednost kolorimetrijske razlike između vizualnog i NIR dijela je 2.291. Što znači da je ovaj blizanac vrlo dobro definiran preko INFRAREDESIGN® metode te ne bi trebalo na daljnje testiranje i prilagođavanje. S tim da o daljnjim koracima odlučujemo tek nakon detaljnog pregleda spektrograma. Ukoliko je preklapanje na svim pik točkama dobro, blizanac se označava kao spreman za reprodukciju.

Spektroskopskim mjerenjem pratimo mijenjanje vrijednosti iz iteraciju u iteraciju.

Usporedbom spektrofotometrijskih krivulja možemo točno vidjeti gdje dolazi do najvećeg odstupanja. Svaka boja ima karakterističnu apsorpciju obzirom na valnu duljinu boje pa se blizanci mogu pratiti promatranjem pikova izmjerene boje. Iskusni promatrači mogu uspješno regulirati odstupanja i pratiti je li blizanac dobro izveden i spreman za reprodukciju.



Graf 7. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

Spektrogrami za promatranje blizanaca su definirani u intervalu od 400 do 900 nm. A mjerenjem dobivamo apsorpcijsku spektrofotometrijsku krivulju. Na Grafu 7 vidimo dva blizanca, odnosno, četiri krivulje. Za oba blizanca apsorpcija je veća u dijelu blizanca pripremljenog za NIR reprodukciju. Spektrometrijska krivulja blizanca BS1 T1 ima najviši pik na oko 560 nm po čemu znamo da se radi o ružičastoj boji. Ono što promatramo je razlika između krivulja, za svakog blizanca gleda se razlika između krivulje u vidljivom i krivulje pripremljene za NIR dio spektra. Krivulja blizanca BS1 T1 ima gotovo ista odstupanja na svim valnim duljinama što nam govori da treba napraviti korekciju u svim kanalima. Kod krivulja blizanaca BS1 T2 imamo dva pika, manji na otprilike 450 nm i viši na 700 nm prema čemu vidimo da se radi o zelenoj boji te imamo malo drugačiju situaciju nego kod blizanca BS1 T1 jer primjećujemo da u intervalu od 400 do 650 nm su odstupanja manja, a od 650 do 750 nm je odstupanje veće. Prema promatranim dobivenim vrijednostima znamo da moramo pristupiti korekciji u žutom i magenta kanalu, a veću korekciju radimo u cijan kanalu.

U dijelu spektrograma na intervalima od 750 do 900 nm možemo očitati ponašanje blizanca u oku nevidljivom području. Uočavamo da je kod blizanca BS1 T1 razlika u krivuljama vidljivog i NIR spektra vrlo mala, ali to je normalno zbog definiranog vrlo malog postotka crne boje od 2%. Važno je napomenuti da je kod blizanca BS1 T1 na 900 nm otprilike 5 % apsorpcije u vidljivom dijelu te za vrlo malo iznad već se nalazi točka NIR krivulje. Kod blizanca BS1 T1 imamo malo drugačiju situaciju jer je vrijednost crnog kanala ovdje 13 % pa stoga imamo krivulju za vidljivo područje na oko 6% dok je krivulja za NIR područje na 13%, kao što je zadano crnima kanalom. Prema svim promatranim parametrima, zaključujemo da se oba blizanca moraju korigirati bez obzira na ΔE vrijednost manju od tri kod blizanca BS1 T2.

Blizanci BS1 T3 i BS1 T4

BS1 T3 blizanc je crvene boje, a blizanc BS1 T4 je ljubičaste boje što razaznajemo vizualnom procjenom prema algoritamskom rješenju sa slike 8.

Blizanc BS1 T3 u vidljivom dijelu (14, 89, 65,0 CMYK) drugačije je nijanse od boje pripremljene za reprodukciju NIR dijela (0, 88, 63, 14 CMYK) blizanca te će prilikom otiskivanja velikih punih površina i kod ovog blizanca doći do izbijanja NIR informacija.

Kako bismo to spriječili i postigli najbolju reprodukciju sa skrivenom informacijom u bojama iz prirode, nastojali smo postići što manji delta E. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ V} = 73.726, 28.728, -13.616$$

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ NIR} = 71.418, 22.138, -17.062$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T3\ V - NIR} = 7.7865$$

Prema formuli boja, za blizanc BS1 T3 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 7.7865. Što znači da ovaj blizanc mora u danje prilagođavanje parametara dok se ΔE ne svede ispod 3.

Blizanc BS1 T4 u vidljivom je dijelu (48, 84, 21, 0 CMYK) te je svjetlije nijanse od NIR dijela (34, 80, 3, 21 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T4\ V} = 70.898, 16.381, -21.82$$

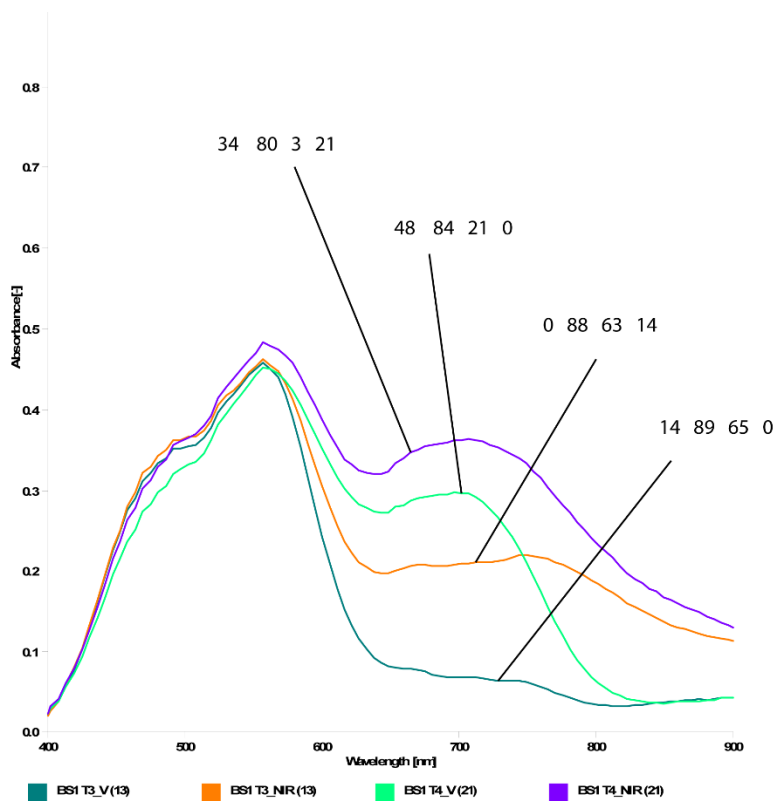
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T4\ NIR} = 68.669, 16.218, -23.163$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T4\ V - NIR} = 2,607$$

Prema formuli boja, za blizanc BS1 T4 vrijednost kolorimetrijske razlike boje $\Delta E_{BS1\ T4\ V - NIR} = 2,607$, što znači da je ovaj blizanc vrlo dobro definiran INFRAREDESIGN® teorijom te ukoliko je preklapanje krivulja dobro, blizanc se označava kao spreman za reprodukciju.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 8. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS1 T3 i BS1 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Na Grafu 8. vidimo spektrofotometrijske krivulje dva blizanca koji imaju najviši pik u istoj točki na 550 nm s otprilike 45% apsorpcije pa znamo da se radi o “bliskoj” boji. Blizanac BS1 T4 ima i drugi pik na 700 nm te tu dolazi do razilaženja krivulja vidljivog i NIR dijela blizanca. Blizanac BS1 T3 ima odlično preklapanje krivulja u pik točki na 550 nm te do velikog razilaženja krivulja dolazi nakon 600 nm. Prema spektrofotometrijskim krivuljama možemo zaključiti da oba blizanca trebaju na korekciju. Blizanac BS1 T3 treba veliku korekciju po cijan kanalu, kao i blizanac BS1 T4, koji također ima odstupanje u cijan kanalu, ali i za par posto treba korigirati žutu i magentu.

U području od 750 do 900 nm polako dolazi do približavanja krivulja vidljivog područja te se one na 830 nm u potpunosti spajaju. Kako blizanci nemaju definiranu istu vrijednost za K kanal, kod blizanca BS1 T3 je 14% te vidimo da je na 900 nm apsorpcija u 0.12, dok je kod blizanca BS1 T4 vrijednost za K kanal 21%, a apsorpcija u 0.14. Zaključujemo da je za oba blizanca potrebna veća korekcija u C kanalu te bez obzira što je ΔE , koji je manji od tri, treba na daljnje korekcije.

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (20, 91, 76, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T1\ V} = 72.825, 27.411, -14.212$$

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T1\ NIR} = 71.353, 20.025, -17.447$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T1\ V - NIR} = 8.196$$

ΔE vrijednost za blizanac BS2 T1 je 8.196 te možemo zaključiti da blizanac mora na daljnju korekciju.

Blizanac BS3 T6 u vidljivom dijelu (72, 43, 68, 0 CMYK) te je svjetlije nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T6\ V} = 71.424, -1.248, -20.457$$

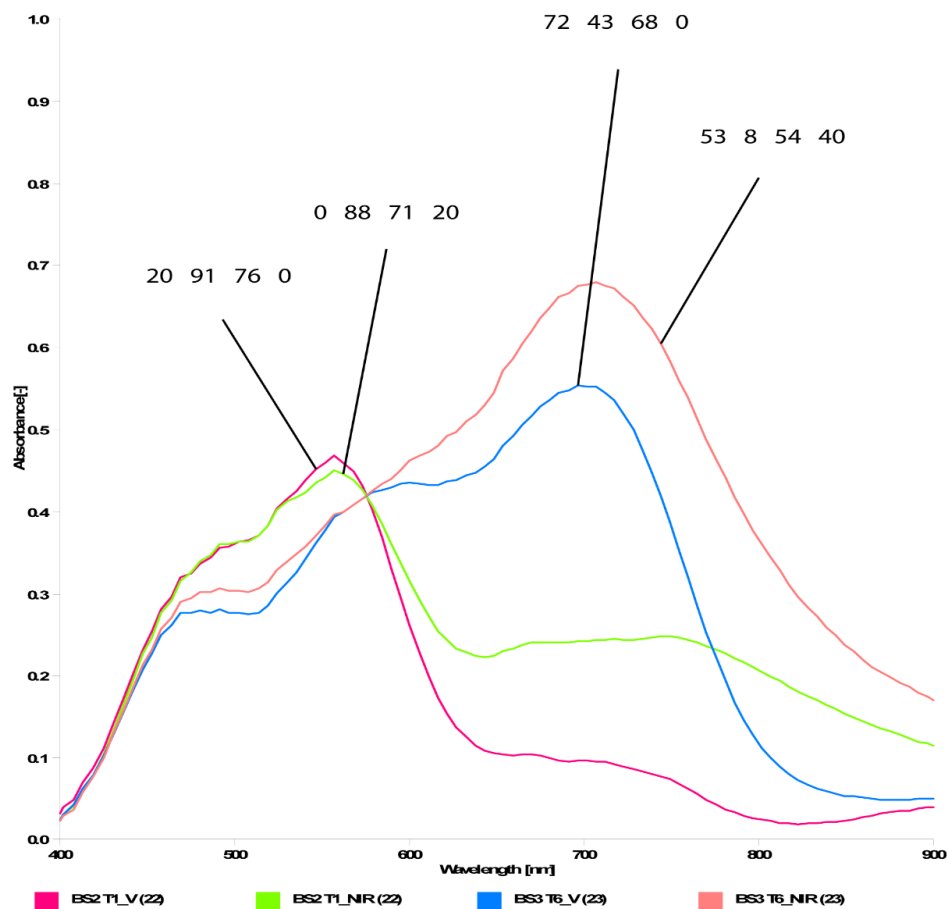
$$L^*a^*b^*_{BS3\ T6\ NIR} = 70.116, -1.992, -21.772$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3\ T6\ V - NIR} = 1.998$$

Prema formuli boja, za blizanca BS3 T6 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 1.998 te će se tek nakon proučavanja spektrograma moći razlučiti je li potrebna korekcija.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 9. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Na spektrogramu blizanaca BS2 T1 i BS3 T6 vidimo dva para krivulja koje se u potpunosti razlikuju jer se radi o dvije potpuno različite boje. Spektrofotometrijske krivulje BS2 T1 blizanca imaju pik na 550 nm te je na tom dijelu dobro preklapanje sve do 600 nm gdje dolazi do značajnog odvajanja krivulja. Kod blizanca BS3 T6 pik je na 700 nm te je ujedno tu i veliko razdvajanje krivulja za vidljivi i NIR spektar. U NIR dijelu spektra imamo očekivani rezultat, gdje se krivulje oba blizanca za prikaz u vidljivom dijelu spektra sastaju na otprilike 0.05 točaka po apsorpcijskoj vertikali. Dok je kod krivulja pripremljenih za prikaz NIR dijela spektra razlika u apsorpciji zbog različitih vrijednosti K kanala. Kod BS2 T1 blizanca K kanal je 20 %, dok je kod blizanca BS3 T6 K kanal definiran 40 %. Iz spektrograma možemo zaključiti da oba blizanca trebaju dodatnu korekciju C kanala.

Blizanci BS2 T3 i BS2 T4

Blizanac BS2 T3 u vidljivom dijelu (33, 90, 43, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 85, 15, 33 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ V} = 72.108, 22.283, -18.466$$

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ NIR} = 69.034, 15.852, -22.243$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T3\ V - NIR} = 8.066$$

Delta E vrijednost blizanca BS2 T3 je 8.066 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti poprilično loš, kao što možemo vidjeti vizualnom procjenom blizanaca generiranih programom za izvođenje i vizualni prikaz blizanaca. Prema već poznatim parametrima možemo zaključiti da blizanac mora na danju korekciju.

Blizanac BS2 T4 u vidljivom dijelu (82, 68, 91, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (68, 41, 82, 40 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T4\ V} = 67.711, 2.207, -24.308$$

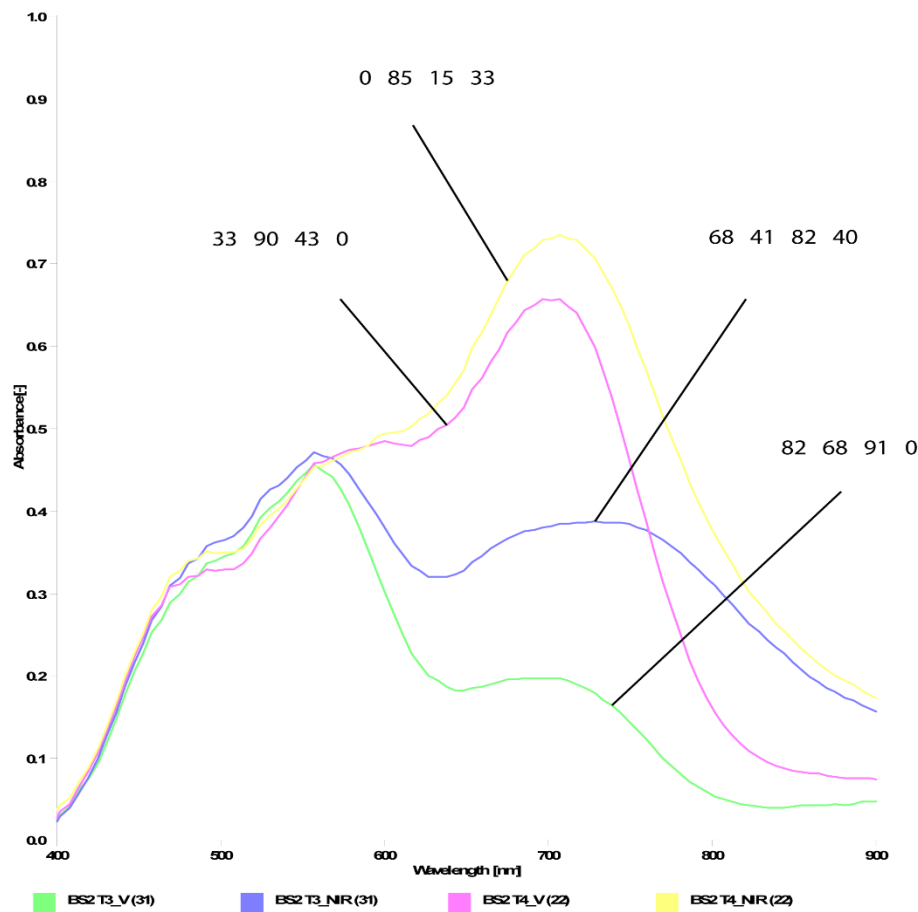
$$L^*a^*b^*_{BS2\ T4\ NIR} = 67.103, 1.779, -24.256$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T4\ V - NIR} = 0.745$$

Prema formuli boja, za blizanac BS2 T4 vrijednost kolorimetričke razlike boje je 0.745, što upućuje da je blizanac vrlo dobro pripremljen prema INFRAREDESIGN® metodi te će se uvidom u spektrofotometrijsku krivulju utvrditi daljnje postupanje.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 10. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS2 T3 i BS2 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Spektrogrami na Grafu 10. daju informaciju o ponašanju blizanaca BS2 T3 i BS2 T4.

Krivulje blizanca BS2 T3 imaju pik na 550 nm i relativno dobro poklapanje krivulja pripremljenih za vidljivo i NIR područje spektra sve do 600 nm, dok od 600 nm pa sve do 900 nm dolazi do velikog razdvajanja krivulja. S obzirom na veliku kolorimetrijsku razliku u boji vidljivog i NIR djela blizanca možemo zaključiti da mora na daljnju korekciju.

Kod blizanca BS2 T4 pik je na 700 nm, ali u toj točki dolazi do razdvajanja krivulja istog blizanca te će se morati napraviti korekcija C kanala. NIR područje koje promatramo u ovom istraživanju pokazuje standardno ponašanje krivulja, a krivulje vidljivog područja nalaze se u intervalu od 0.05 do 0.1 po apsorpcijskoj vertikali. Možemo zaključiti da su za oba blizanca potrebne korekcije u C kanalu, bez obzira na dobar $\Delta E_{BS2 T4 V - NIR} = 0.745$, jer ipak segment vizualne procjene ne zadovoljava postavljene kriterije.

Blizanci BS3 T1 i BS4 T1

Blizanac BS3 T1 u vidljivom dijelu (5, 24, 86, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 22, 87, 5 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T1 V} = 87.94, 11.493, 6.393$$

$$L^*a^*b^*_{BS3 T1 NIR} = 85.693, 10.833, 4.528$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3 T1 V - NIR} = 2.993$$

Delta E vrijednost za blizanca BS3 T1 je 2.993 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti granično dobar, no vizualnom procjenom se vidi da dolazi do odstupanja u bojama pa će se provjerom spektrograma vidjeti i definirati način daljnjih korekcija blizanca.

Blizanac BS4 T1 u vidljivom dijelu (81, 79, 20, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (76, 72, 5, 20 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS4 T1 V} = 67.616, 4.771, -30.750$$

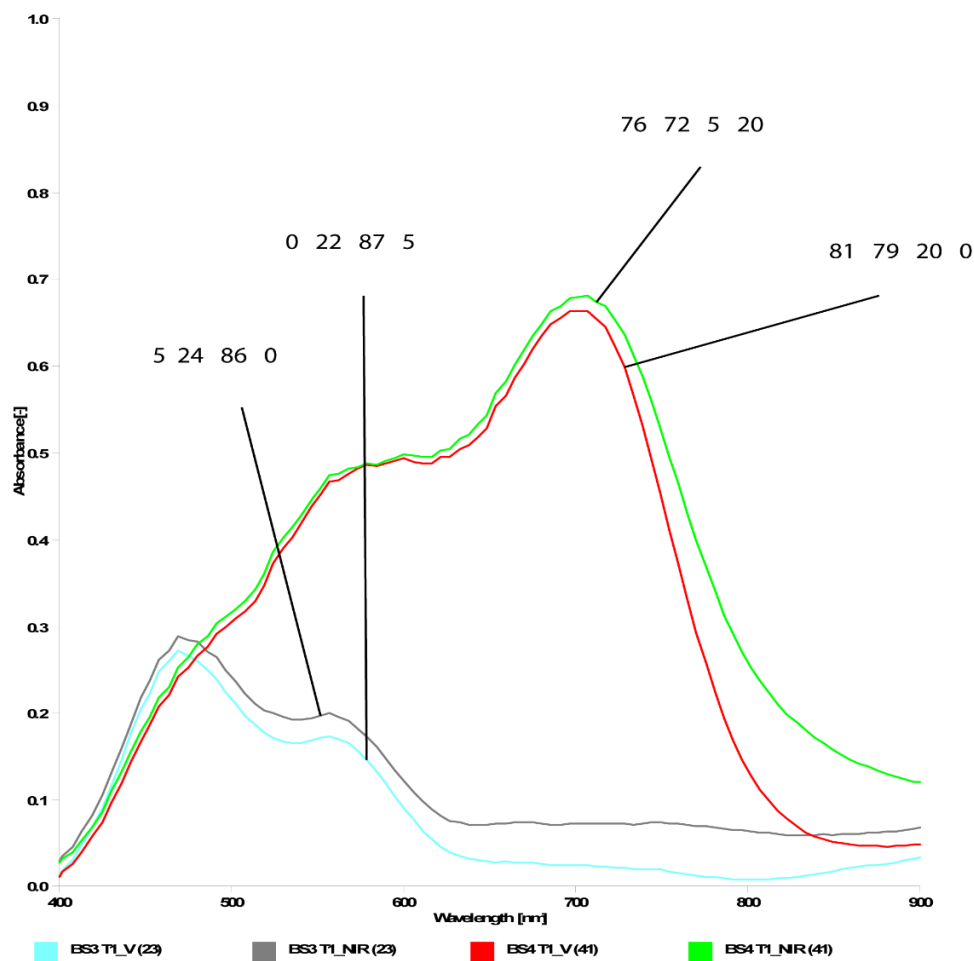
$$L^*a^*b^*_{BS4 T1 NIR} = 67.064, 4.847, -30.185$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS4 T1 V - NIR} = 0.793$$

Prema formuli boja, za blizanac BS4 T1 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 0.793, znači da je poprilično dobar te ćemo procjenom spektrograma vidjeti u kojem je stanju blizanac nakon prve iteracije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 11. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS3 T1 i BS4 T1 u vidljivom i NIR dijelu

Na Grafu 11. vidimo vrlo dobro poklapanje krivulja iz vidljivog i NIR spektra. Blizanac BS3 T1 ima pik na 470 nm i jedan manji na 560 nm. Blizanac će se morati malo korigirati u svim kanalima. Kod blizanca BS4 T1 imamo odlično preklapanje krivulja, pik se nalazi na 710 nm, gdje dolazi i do malog i zanemarivog odstupanja. S obzirom da ΔE vrijednost blizanca iznosi 0.793, možemo zaključiti da je blizanac već s prvom iteracijom uspješno prilagođenih parametara te je spreman za reprodukciju.

U NIR dijelu ponašanje krivulja je očekivano, krivulje karakteristične za vidljivi spektar nalaze se u intervalu od 0.05 do 0.1 po apsorpcijskoj vertikali. Zbog relativno male vrijednosti u K kanalu od 5 %, NIR krivulja blizanca BS3 T1 na 900 nm nalazi se ispod 0.1 po apsorpcijskoj vertikali.

Blizanci BS3 T3 i BS3 T4

Blizanac BS3 T3 u vidljivom dijelu (9, 90, 68, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 89, 69, 0 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ V} = 75.564, 30.986, -12.340$$

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ NIR} = 73.638, 26.309, -13.885$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS3\ T3\ V - NIR} = 5.288$$

Delta E vrijednost za blizanca BS3 T3 je 5.288 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti poprilično loš, što je vidljivo i vizualnom procjenom gdje dolazi do odstupanja u bojama, što upućuje na daljnju analizu i korekcije blizanaca.

Blizanac BS3 T4 u vidljivom dijelu (43, 84, 7, 0 CMYK) je svjetlije nijanse od boje pripremljene za NIR dio (40, 84, 2, 7 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS4\ T1\ V} = 72.319, 20.574, -19.728$$

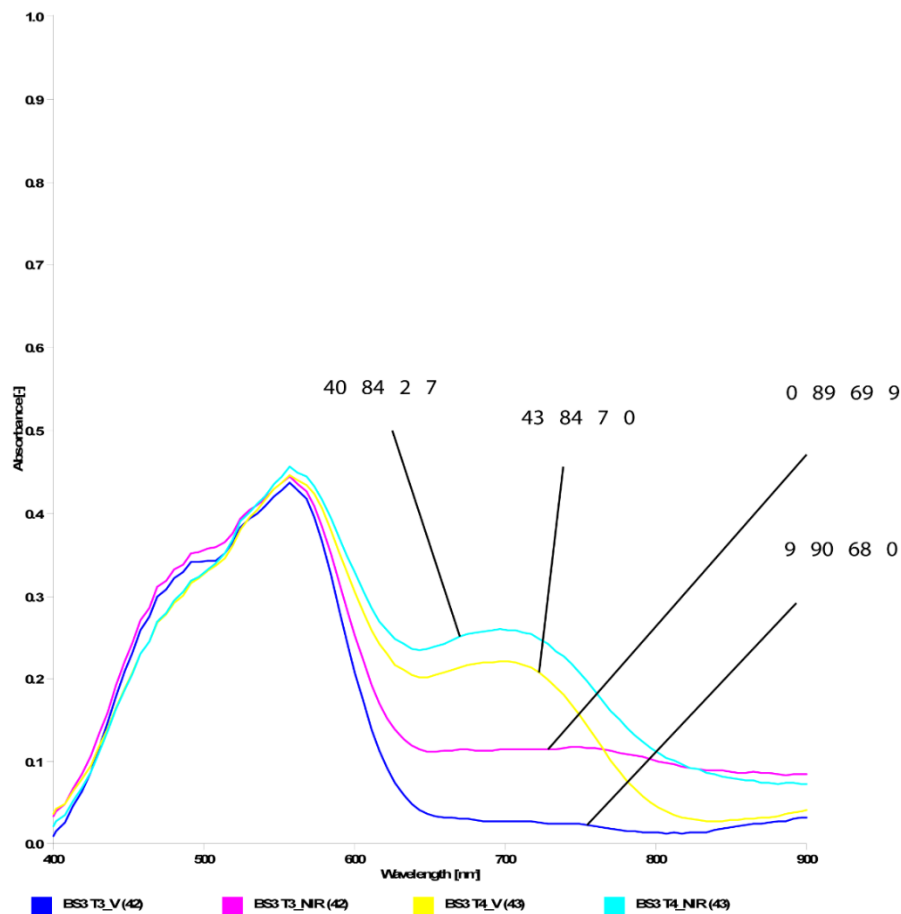
$$L^*a^*b^*_{BS4\ T1\ NIR} = 71.433, 19.405, -21.615$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS4\ T1\ V - NIR} = 2,39$$

Prema formuli boja, za blizanca BS3 T4 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 2,39, što znači da je blizanac dobar te ćemo procjenom spektrograma vidjeti u kojem je stanju blizanac nakon prve iteracije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 12. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS3 T3 i BS3 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Na prvi pogled radi se o poprilično dobro izvedenim blizancima. Sve četiri krivulje imaju pik na 560 nm te se nakon toga krivulje počinju razdvajati. Kod oba blizanca će se morati napraviti korekcija u C kanalu.

U dijelu spektrograma na intervalu od 750 do 900 nm možemo očitati ponašanje blizanca u oku nevidljivom području, gdje dolazi do spajanja krivulja dvaju blizanaca.

Spektrofotometrijska se krivulja kod oba blizanca u vidljivom dijelu spektra stabilizira i “spaja” u točki apsorpcije 0.05, dok se stabilizacija i “spajanje” krivulja pripremljenih za NIR područje događa u točki 0.1.

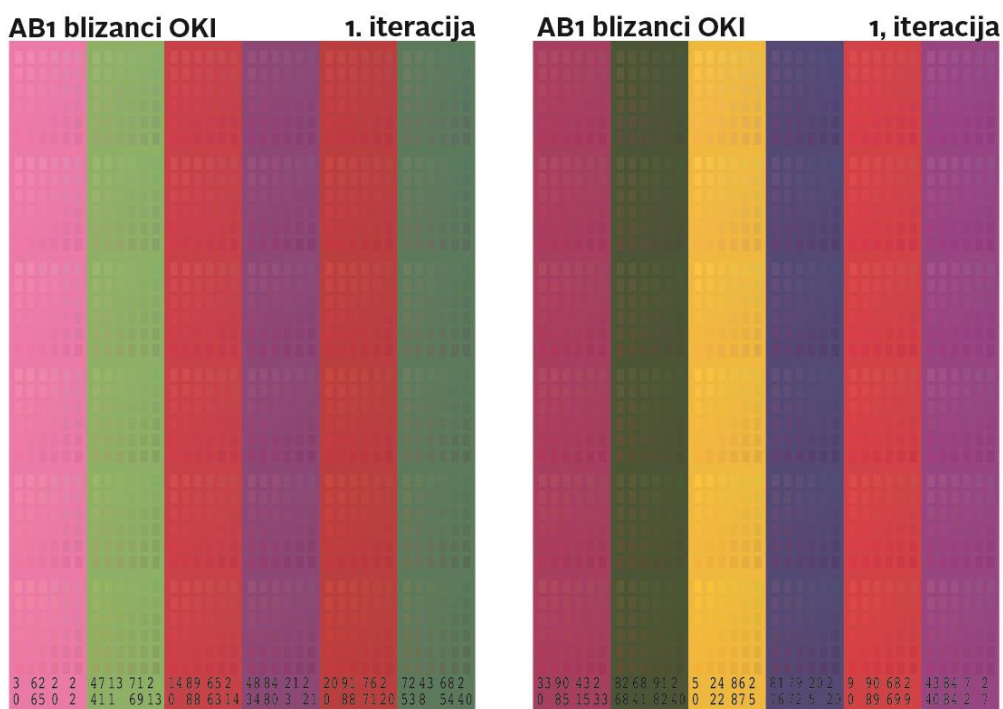
Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 1. iteraciju AB1 blizanci OKI

Iskusniji promatrači mogu u potpunosti pratiti i korigirati blizance preko spektrofotometrijskih krivulja, ali to je dugotrajan i kompleksan posao. Stoga je za lakše praćenje razvijeno programsko rješenje u sklopu INFRAREDESIGN® teorije, za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka od 1 % do 3 %. Što olakšava pronalazak savršenog blizanca te skraćuje proces korekcije.

Iskustveno, prilikom obrade velike količine uzoraka u eksperimentalnom dijelu ove disertacije potvrđeno je da kombinacija tih dviju tehnika daje odlične rezultate i olakšava izvođenje eksperimenta. U početku dok su još razlike u bojama veće, korišten je program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka, a kad programom svedemo blizance na male razlike u nijansama s definiranim korakom od 1% kreće se s dodatnim prilagođavanjem krivulje, ukoliko postoji takva potreba. Do završnih programskih izračuna spektrofotometrijska krivulja služi samo za praćenje razvoja eksperimenta.

Programsko rješenje za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka, nazvano i programska tablica boja, služi za promatranje svih blizanaca s jednog testnog lista odjednom jer u istom prolazu ispisuje sve zadane blizance u toj seriji, kao što vidimo u Tablici 2.

Tablica 2. AB1 Blizanci OKI, prva iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim pomakom



Tablica 2. prikazuje svih dvanaest blizanaca bojila s testnog lista AB1 blizanci OKI, koji su provedeni kroz program. Ovakva vizualna procjena boje olakšava odabir i izjednačavanje nijansi pojedine boje te omogućava testiranje svih eksperimentalnih iteracija istog testnog lista odjednom.

Prema programski izvedenoj tablici boja napravljene su izmjene po kanalima u dijelu blizanca pripremljenog za vidljivi dio spektra. Kako su na ovom testnom listu poprilično dobro izvedeni blizanci, odmah je pomaknut korak s tri na dva te je sada razlika u bojama kod svih blizanaca razlika po dva koraka s obzirom na referentni uzorak. Time su određene nove vrijednosti za svakog od blizanaca, prikazane u produžetku:

BS1 T1 - 7, 66, 4, 0

BS1 T2 - 53, 15, 77, 0

BS1 T3 - 14, 89, 55, 0 - uz vraćanje pomaka na 3

BS1 T4 - 54, 92, 27, 0

BS2 T1 - 20, 91, 70, 0 - uz vraćanje pomaka na 3

BS3 T6 - 72, 33, 68, 0 - uz vraćanje pomaka na 3

BS2 T3 - 33, 90, 33, 0

BS2 T4 - 88, 70, 97, 0

BS3 T1 - 11, 30, 86, 0

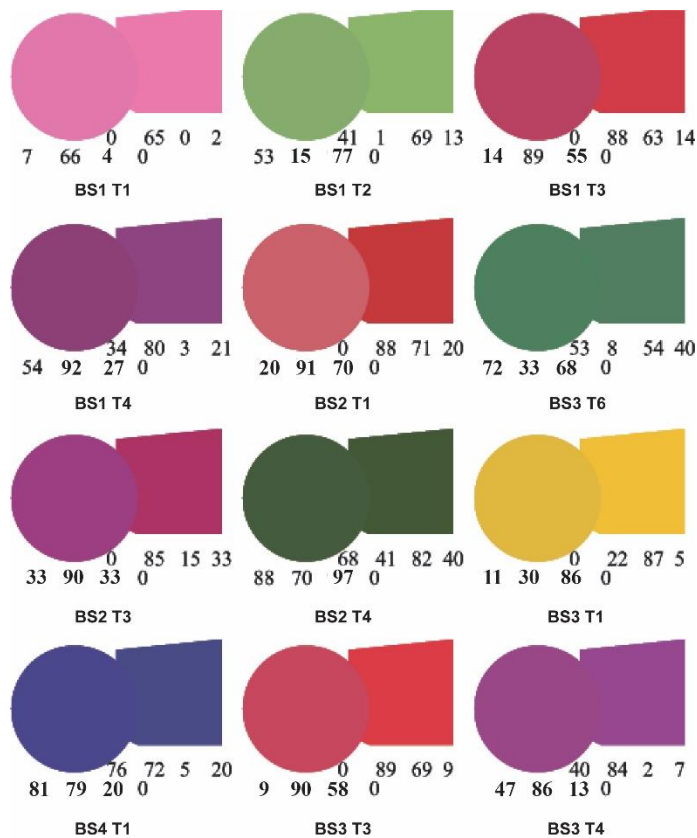
BS4 T1 – spreman za reprodukciju

BS3 T3 - 9, 90, 58, 0 - uz vraćanje pomaka na 3

BS3 T4 - 47, 86, 13, 0

Zbog lošeg podudaranja nijansi boja iz vidljivog i NIR dijela kod nekih blizanaca napravio se pomak natrag na korak tri. Na taj način je veća vjerojatnost da ćemo u sljedećoj iteraciji imati poklapanje boje iz vidljivog i NIR dijela spektra.

Druga iteracija



ITERACIJA 2

Slika 9. ABI Blizanci OKI, 2. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata za 2. iteraciju

U ovoj fazi analizirat ćemo blizance koji su prošli prvu iteraciju te će se u drugoj iteraciji vidjeti ima li pomaka od prve iteracije i jesu li blizanci bojila dobro korigirani.

Blizanci BS1 T1 i BS1 T2

U drugoj iteraciji proučavamo promjene koje su se dogodile od prve do druge iteracije. Je li došlo do poboljšanja ili se kod nekih blizanaca koje smo morali vraćati korak natrag (na pomak 3) dogodilo pogoršanje. Ukoliko je došlo do pogoršanja, radit će se i usporedba spektrograma upitnog blizanca te će se nakon toga odlučiti o daljnjim koracima.

Blizanac BS1 T1 u 2. iteraciji ima u vidljivom dijelu (7, 66, 4, 0 CMYK) poprilično dobro preklapanje s referentnim uzorkom iz NIR dijela blizanca (0, 65, 0, 2 CMYK). U ovoj fazi CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1 T1 V} = 78.306, 24.143, -12.885$$

$$L^*a^*b^*_{BS1 T1 NIR} = 76.708, 22.078, -14.329$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1 T1 V - NIR} = 2.983$$

Primjećujemo vrlo dobro vizualno preklapanje boje iz dva spektralna područja blizanca. Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1 T1 V - NIR}$ za blizanca BS1 T1 vrijednost kolorimetrijske razlike između vizualnog i NIR dijela blizanca je 2.983. U prvoj iteraciji je $\Delta E_{BS1 T1 V - NIR}$ iznosio 3.171 te je razlika od prve do druge iteracije 0,188. Što znači da je blizanac u ovom koraku uspješno korigiran te da se nalazi unutar željenih vrijednosti ΔE .

Kod blizanca BS1 T2 imamo izuzetno dobro preklapanje boje iz vidljivog dijela (53, 15, 77, 0 CMYK) i blizanca reproduciranog u NIR dijelu (41, 1, 69, 13 CMYK). U ovoj fazi CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti blizanca su:

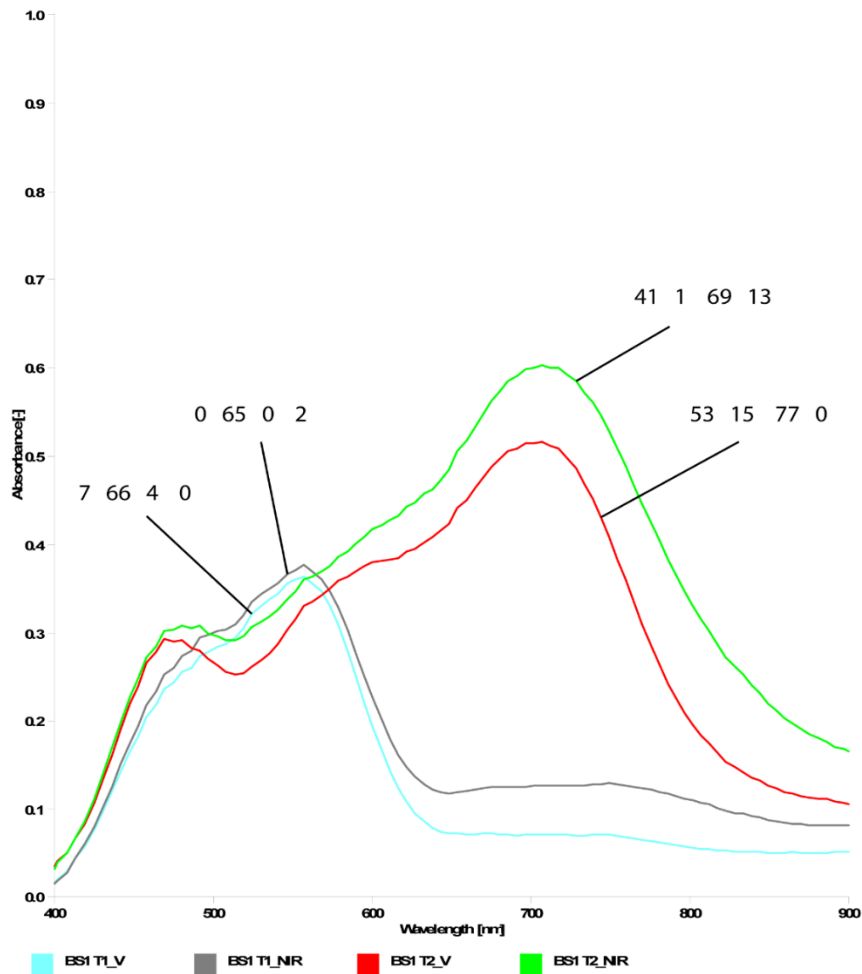
$$L^*a^*b^*_{BS1 T2 V} = 74.609, -3.684, -13.803$$

$$L^*a^*b^*_{BS1 T2 NIR} = 72.190, -2.571, -16.765$$

Iz zadanih vrijednosti izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1 T1 V - NIR} = 3.982$$

Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1 T1 V - NIR}$ za blizanac BS1 T2 vrijednost kolorimetriske razlike između vizualnog i NIR dijela je 3.982. To znači da ova korekcija blizanca nije dobro određena te je došlo do pogoršanja ΔE vrijednosti koja je u prvoj iteraciji iznosila 2.291.



Graf 13. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

Iz spektrograma je vidljivo da je krivulja blizanaca BS1 T1 do 600 nm dobra, s malim odstupanjem, što znači da će se u Y i M kanalu raditi male korekture dok je kod C kanala potrebna nešto veća korekcija jer se krivulje počinju razdvajati na 750 nm.

Krivulje blizanca BS1 T2 u odnosu na prvu iteraciju imaju veće razdvajanje duž cijelog prikazanog intervala te primjećujemo nešto veću apsorpciju po C kanalu. Kod prve iteracije apsorpcija po C kanalu, ako gledamo vidljivi dio blizanca, bila je 35 %, a kod druge iteracije 50 %.

Prema promatranim parametrima, zaključujemo da se oba blizanca moraju i dalje korigirati. Kod blizanca BS1 T1 značajnija korekcija će biti u C kanalu dok se kod blizanca BS1 T2 treba korigirati po svim kanalima, s tim da je najveće odstupanje isto u C kanalu. Ako pogledamo programsko rješenje za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka vidjet ćemo da su nova rješenja, pripremljena za korekciju u 3. iteraciji, u skladu sa predviđanjima definiranim prema spektrogramima.

Blizanci BS1 T3 i BS1 T4

Blizanac BS1 T3 je u vidljivom dijelu (14, 89, 55, 0 CMYK) te je i vizualnom procjenom i dalje vidljivo poprilično razilaženje u bojama od NIR dijela (0, 88, 63, 14 CMYK). CIE

L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ V} = 73.688, 27.981, -14.09$$

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ NIR} = 70.980, 20.939, -17.028$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T3\ V - NIR} = 8.096$$

Prema formuli boja, za blizanca BS1 T3 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 8.096. Što znači da je kod ovog blizanca također došlo do pogoršanja stanja u vrijednosti od 0.31 između ΔE prve i druge iteracije te će se u sljedećim iteracijama morati napraviti veća korekcija dok se ΔE ne svede ispod 3.

Blizanac BS1 T4 u vidljivom dijelu (54, 92, 27, 0 CMYK) te je vizualno vrlo blizak boji iz NIR dijela (34, 80, 3, 21 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T4\ V} = 69.270, 16.203, -23.056$$

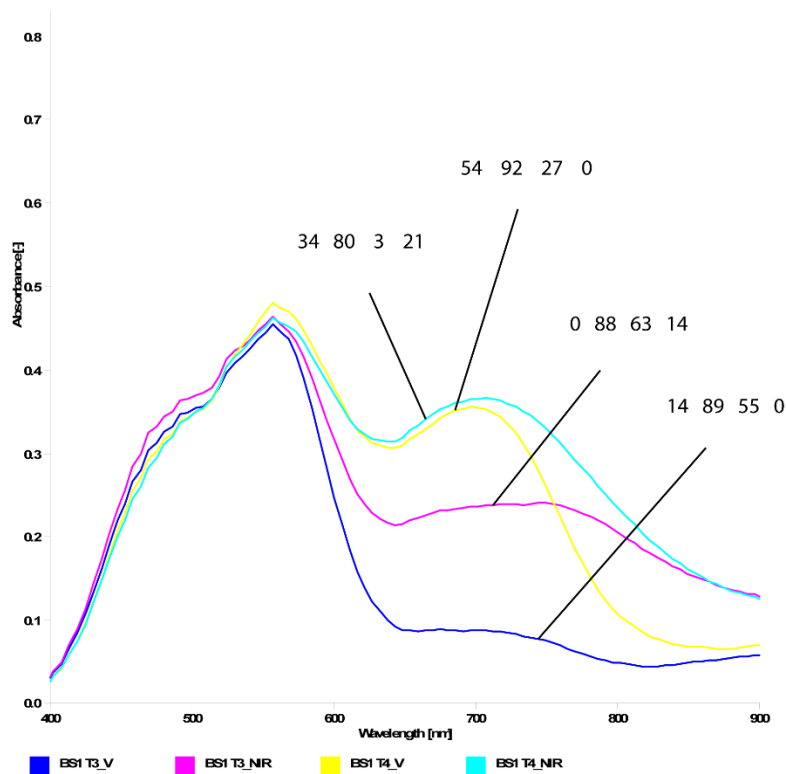
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T4\ NIR} = 69.716, 15.706, -22.938$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T4\ V - NIR} = 0.678$$

Prema formuli boja, za blizanca BS1 T4 vrijednost kolorimetrijske razlike boje $\Delta E_{BS1\ T4\ V - NIR}$ je 0.678, što upućuje da je blizanac vrlo dobro korigiran te će se uvidom u spektrogram raditi eventualne daljnje korekcije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 14. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS1 T3 i BS1 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Na Grafu 14. vidimo spektrofotometrijske krivulje dva blizanca koji imaju najviši pik u istoj točki na 550 nm s otprilike 45 % apsorpcije pa znamo da se radi o “bliskoj” boji. U ovoj iteraciji sve krivulje imaju dobro preklapanje te se ono proteže za blizanca BS1 T4 sve do 700 nm nakon čega dolazi do razdvajanja dijela blizanca pripremljenog za vidljivi dio i onoga za NIR reprodukciju. Ako usporedimo krivulju iz prve iteracije, vidimo da je došlo do značajnog poboljšanja i da se krivulje gotovo u potpunosti preklapaju. Prema tome možemo zaključiti da je bliznac BS1 T4 spreman za reprodukciju.

Za bliznac BS1 T3 koji prema izračunatoj ΔE vrijednosti treba veliku korekciju u ovoj iteraciji, uvidom u ponašanje krivulja, možemo primijetiti da se to odnosi na korekcije po C kanalu jer je u tom djelu, u odnosu na spektrogram iz prve iteracije došlo do pogoršanja stanja.

U području od 750 do 900 nm krivulje se ponašaju očekivano, dolazi do razdvajanja krivulja oba blizanca koji se spajaju u sebi srodno spektralno područje.

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (20, 91, 70, 0 CMYK) drugačije je nijanse od blizanca pripremljenog za NIR dio (0, 88, 71, 20 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T1\ V} = 73.544, 27.893, -15.185$$

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T1\ NIR} = 70.546, 20.772, -16.650$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T1\ V - NIR} = 7.864$$

Delta E vrijednost za blizanca BS2 T1 je 7.864 te je došlo do značajnog poboljšanja stanja u vrijednosti od 0.332, no blizanac mora na daljnje korekcije sve dok ΔE vrijednost ne bude ispod 3.

Blizanac BS3 T6 u vidljivom dijelu (72, 33, 68, 0 CMYK) te je svjetlije nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T6\ V} = 73.445, -4.766, -18.042$$

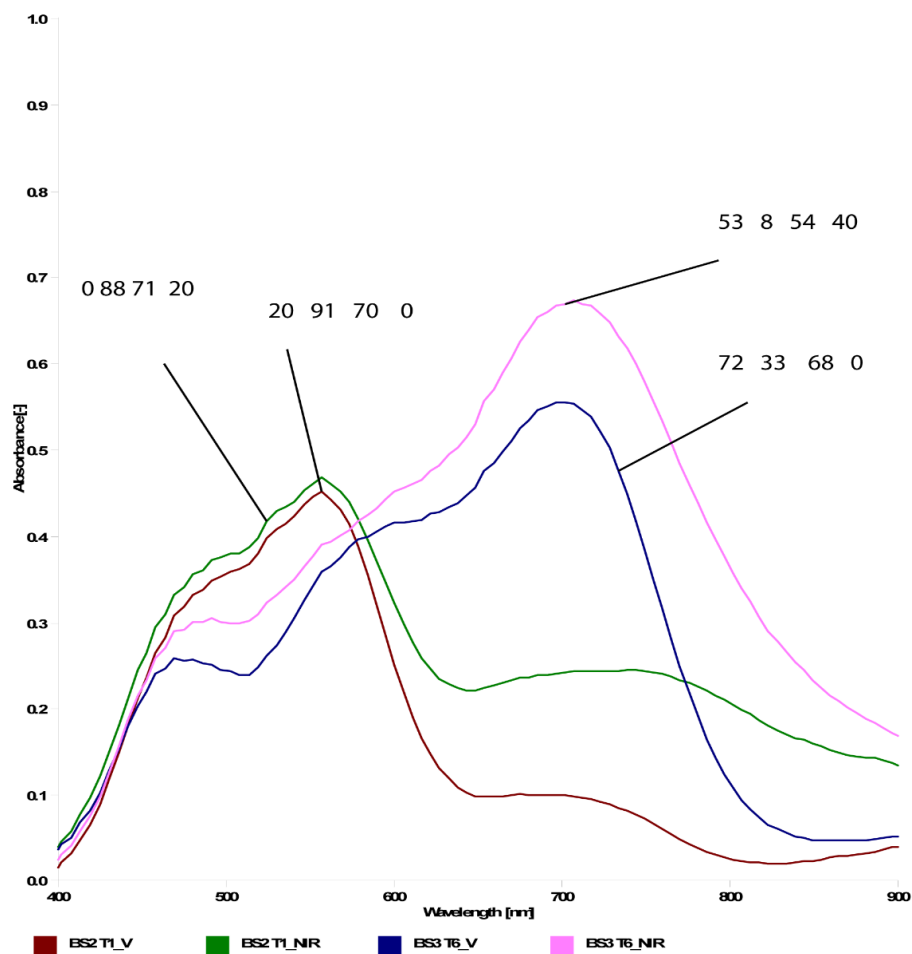
$$L^*a^*b^*_{BS3\ T6\ NIR} = 70.582, -1.929, -20.962$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3\ T6\ V - NIR} = 4.977$$

ΔE vrijednost prema formuli boja, za blizanca BS3 T6 je 4.977 što upućuje na daljnju analizu i korekciju blizanca. Kod ovog blizanca došlo je do velikog pogoršanja te će se uvidom u sprektrofotogram moći napraviti objektivna procjena stanja blizanca.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 15. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Spektrofotometrijske krivulje BS2 T1 blizanca imaju pik na 550 nm te je na tom dijelu došlo do odvajanja krivulja u odnosu na prvu iteraciju gdje su se krivulje gotovo preklapile do 600 nm. Što znači da bi se trebala napraviti korekcija po svim kanalima, dok će u C kanalu biti potrebna značajnija korekcija.

Kod blizanca BS3 T6 pik je na 700 nm te je tu i dalje veliko razdvajanje krivulja za vidljivi i NIR spektar. No promatranjem prve iteracije, vidimo da je također došlo do pogoršanja te bi trebalo napraviti korekciju po svim kanalima.

U NIR dijelu spektra imamo očekivani rezultat, gdje se krivulje oba blizanca za prikaz u vidljivom dijelu spektra sastaju na otprilike 0.05 točaka po apsorpcijskoj vertikali te se to nije promijenilo od prve iteracije.

Blizanci BS2 T3 i BS2 T4

Blizanac BS2 T3 u vidljivom dijelu (33, 90, 33, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 85, 15, 33 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ V} = 71.982, 22.281, -18.224$$

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ NIR} = 69.246, 15.990, -21.331$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T3\ V - NIR} = 7.531$$

ΔE vrijednost za blizanca BS2 T3 u prvoj iteraciji bila 8.066 te vidimo da je došlo do malog, ali ne i dovoljnog poboljšanja staja.

Blizanac BS2 T4 u vidljivom dijelu (88, 70, 97, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od boje pripremljene za NIR dio (68, 41, 82, 40 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T4\ V} = 67.391, 1.605, -25.765$$

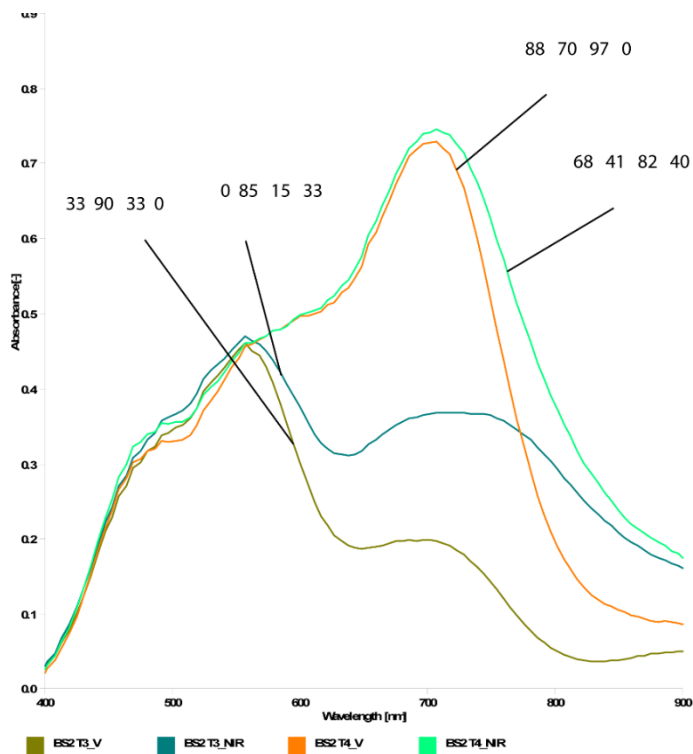
$$L^*a^*b^*_{BS2\ T4\ NIR} = 66.741, 2.389, -24.978$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T4\ V - NIR} = 1.287$$

Prema formuli boja, za blizanac BS2 T4 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 1.287 te je vidljivo da je došlo do povećanja kolorimetrijske razlike između dvije boje blizanca, no kako je vrijednost ΔE i dalje u zadanim okvirima, uvidom u spektrogram će se definirati daljnje postupanje s blizancem.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 16. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS2 T3 i BS2 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Spektrogrami na Grafu 16. daju informaciju o ponašanju blizanaca BS2 T3 i BS2 T4. Krivulje blizanca BS2 T3 imaju pik na 550 nm i relativno mala odstupanja između krivulja pripremljenih za vidljivo i NIR područje spektra do 580 nm, dok od 580 nm pa sve do 900 nm dolazi do velikog razdvajanja krivulja. Promatrajući spektrogram prve iteracije, vidi se da se smanjila udaljenost između krivulje vidljivog i NIR spektra. Krivulje blizanca BS2 T4 se dobro poklapaju osim malog i zanemarivog razdvajanja na 700 nm, gdje se nalazi i najviši pik blizanca. Promatrajući više parametara u eksperimentu, dobro vizualno preklapanje boja iz dva područja spektra blizanca te da je ΔE vrijednost manja od tri, uz poprilično dobro preklapanje krivulja za vidljivo i NIR područje, možemo zaključiti da je blizanac spreman za reprodukciju. NIR područje koje nadziremo u ovom istraživanju pokazuje standardno ponašanje krivulja, krivulje vidljivog područja nalaze se u intervalu od 0.05 do 0.1 po apsorpcijskoj vertikali. Možemo zaključiti da su za oba blizanca potrebne korekcije u C kanalu.

Blizanac BS3 T1

Blizanac BS3 T1 u vidljivom dijelu (11, 30, 86, 0 CMYK) malo tamnije je nijanse žute od NIR dijela (0, 22, 87, 5 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T1\ V} = 85.283, 12.942, 3.517$$

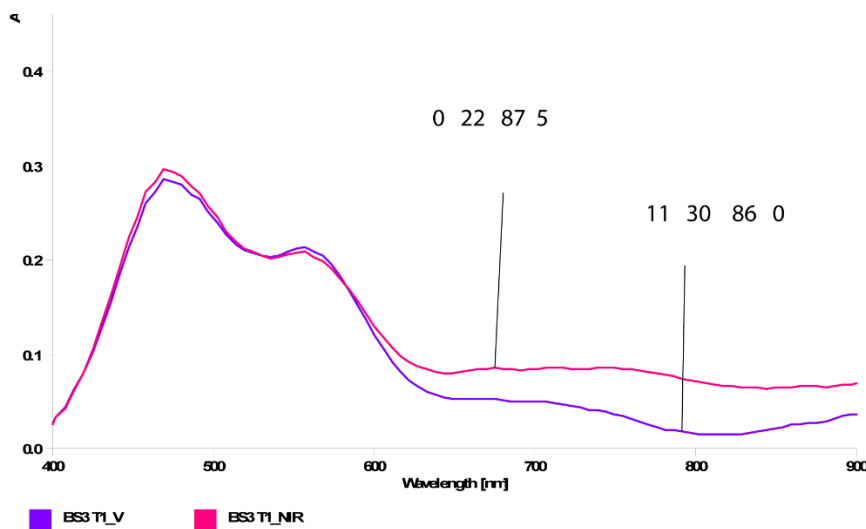
$$L^*a^*b^*_{BS3\ T1\ NIR} = 84.99, 10.92, 4.009$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3\ T1\ V - NIR} = 2.101$$

ΔE vrijednost za blizanac BS3 T1 je 2.101 te došlo do malog poboljšanja stanja. Uvidom u spektrogram definirat će se danje postupanje i eventualne korekcije blizanca.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 17. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanac BS3 T1 u vidljivom i NIR dijelu

Spektrogram blizanca je poprilično dobar, vidimo pik na 470 nm i jedan manji na 560 nm te je do 600 nm gotovo savršeno preklapanje krivulja, razdvajanje uočavamo od 600 nm. Kako su ostali segmenti koji se promatraju u eksperimentu poprilično dobri i u očekivanim okvirima pa možemo zaključiti da je blizanac BS3 T1 spreman za reprodukciju.

Blizanci BS3 T3 i BS3 T4

Blizanac BS3 T3 u vidljivom dijelu (9, 90, 58, 0 CMYK) je drugačije je nijanse od reprodukcije za NIR dio (0, 90, 69, 9 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ V} = 75.091, 31.055, -11.835$$

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ NIR} = 73.577, 25.603, -13.676$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3\ T3\ V - NIR} = 5.95$$

ΔE vrijednost za blizanac BS3 T3 je 5.95 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti malo lošiji od prve iteracije koja je iznosila 5.288, što je vidljivo i vizualnom procjenom gdje dolazi do odstupanja u bojama, što upućuje na danju analizu i prilagođavanje blizanca.

Blizanac BS3 T4 u vidljivom dijelu (47, 89, 13, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (40, 84, 2, 7 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS4\ T1\ V} = 72.221, 18.897, -21.039$$

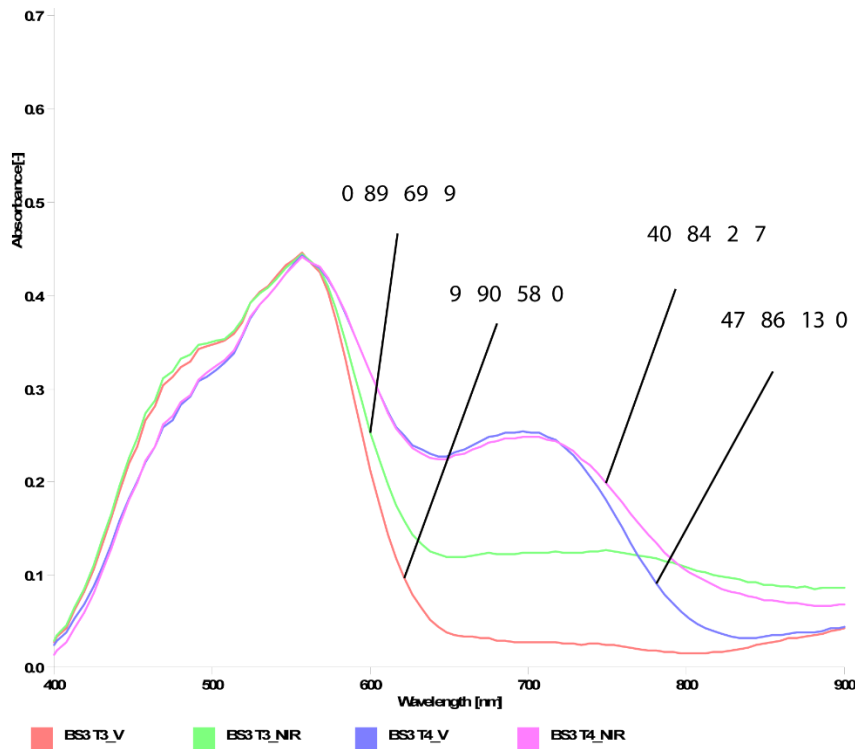
$$L^*a^*b^*_{BS4\ T1\ NIR} = 72.209, 19.379, -21.323$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS4\ T1\ V - NIR} = 0.559$$

Za blizanac BS3 T4 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 0.559, što znači da je blizanac jako dobar te ćemo procjenom spektrograma vidjeti u kojem je stanju blizanac nakon druge iteracije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 18. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanac BS3 T3 i BS3 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Blizanci BS3 T3 i BS3 T4 dobro su izvedeni što se vidi iz spektrograma. Sve četiri krivulje imaju pik na 560 nm te se nakon toga krivulje blizanca BS3 T3 počinju razdvajati pa bi na ovom blizancu trebalo napraviti korekciju u C kanalu.

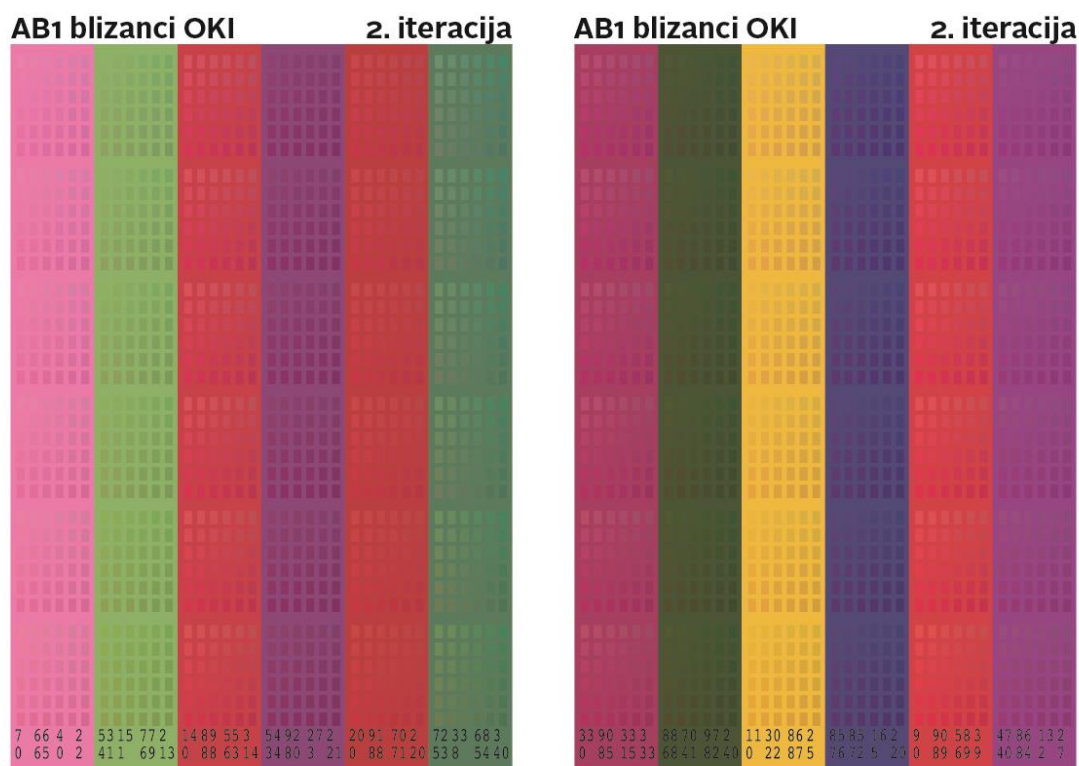
Blizanac BS3 T4 je vrlo dobro određen već u drugoj iteraciji te prema spektrogramu, ali i prema vrijednosti ΔE nisu potrebna daljnja prilagođavanja pa možemo zaključiti da je blizanac spreman za reprodukciju.

Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 2. iteraciju AB1 blizanci

OKI

Prema programskoj tablici možemo primijetiti na koji način su prema programskom rješenju odabrane nove iteracije za pojedinu boju. Svaki put se rade preinake za vidljivi dio blizanca, a reprodukcija u NIR dijelu definira se kao referentna boja.

Tablica 3. AB1 Blizanci OKI, druga iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim pomakom

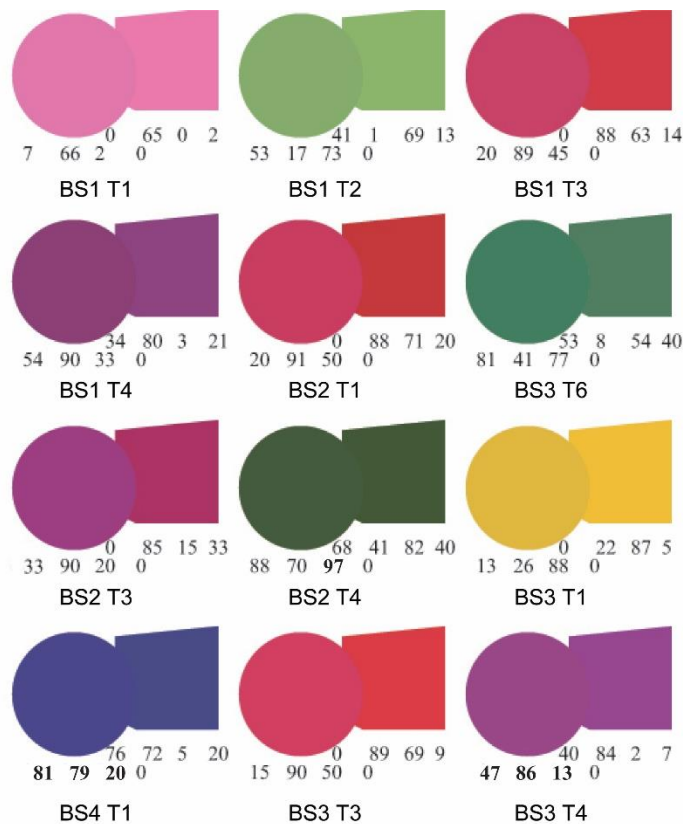


Prema programskoj tablici određene su nove vrijednosti blizanaca testnog lista AB1 blizanci OKI:

- Kod blizanca BS1 T1 je došlo do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
7, 66, 2, 0.
- Kod blizanca BS1 T2 je došlo do promjene M i Y kanala, novo stanje je:
53, 17, 73, 0
- Kod blizanca BS1 T3 je došlo do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
20, 89, 45, 0
- Kod blizanca BS1 T4 je došlo do promjene M i Y kanala, novo stanje je:
54, 90, 33, 0
- Kod blizanca BS2 T1 je došlo do promjene Y kanala, novo stanje je:
20, 91, 50, 0
- Kod blizanca BS3 T6 je došlo do promjene po svim kanalima, novo stanje je:
81, 41, 77, 0

- Kod blizanca BS2 T3 je došlo do promjene Y kanala, novo stanje je:
33, 90, 20, 0
- Kod blizanca BS3 T1 je došlo do promjene po svim kanalima, novo stanje je:
13, 26, 88, 0
- Kod blizanca BS3 T3 je došlo do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
15, 90, 50, 0

Treća iteracija



ITERACIJA 3

Slika 10. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata 3. iteracija

Blizanci BS1 T1 i BS1 T2

U trećoj iteraciji proučavamo promjene koje su se dogodile od druge do treće iteracije. Je li došlo do poboljšanja ili se kod nekih blizanaca opet dogodilo pogoršanje. Kao i kod 2. iteracije, ukoliko su vidljiva pogoršanja, blizanci će ići u daljnju obradu.

Blizanac BS1 T1 u 3. iteraciji ima poprilično dobro preklapanje vidljivog (7, 66, 2, 0 CMYK) s referentnim uzorkom iz NIR dijela blizanca (0, 65, 0, 2 CMYK). U ovoj fazi CIE L*a*b* vrijednosti blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T1\ V} = 81.156, 24.449, -9.609$$

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T1\ NIR} = 79.153, 24.129, -10.333$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR} = 2.153$$

Primjećujemo vrlo dobro vizualno preklapanje boje iz dva spektralna područja blizanca.

Vrijednosti kolorimetrijske razlike između vizualnog i NIR dijela je 2.153, što je za 0,83 manje od druge iteraciji gdje je $\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR}$ iznosio 2.983. Što znači da je blizanac u ovom koraku uspješno korigiran.

Kod blizanca BS1 T2 imamo izuzetno dobro preklapanje boje iz vidljivog dijela (53, 17, 73, 0 CMYK) i blizanca reproduciranog u NIR dijelu (41, 1, 69, 13 CMYK). U ovoj fazi CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T2\ V} = 78.393, -5.205, -10.013$$

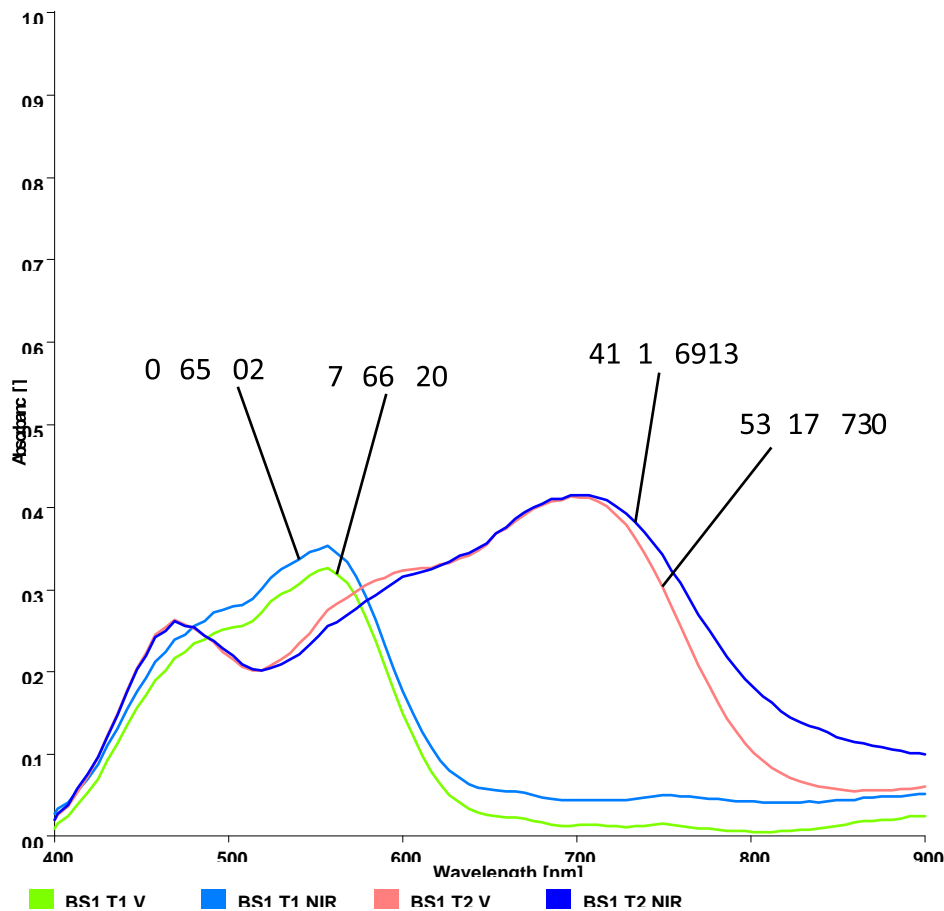
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T2\ NIR} = 79.105, -5.790, -8.908$$

Iz zadanih vrijednosti izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR} = 1.438$$

Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR}$ za blizanca BS1 T2 vrijednost kolorimetrijska razlike između vizualnog i NIR dijela se smanjila te ona sada iznosi 1.438. Uvidom u spektrogram vidjet ćemo treba li blizanac na dodatne korekcije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 19. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

Promatranjem spektrograma blizanaca BS1 T1 i BS1 T2 vidljivo je da je generalno došlo do poboljšanja kod oba blizanca. Blizanac BS1 T2 ima gotovo savršeno preklapanje duž cijelog vidljivog spektra, uz malo i zanemarivo razdvajanje krivulja u intervalu od 520 do 620 nm. S obzirom na druge parametre, da je delta E manji od 3 te da vizualno blizanac ima vrlo dobro preklapanje u boji između dva spektra, možemo zaključiti da je blizanac spreman za reprodukciju.

Kod blizanca BS1 T1 imamo malo pogoršanje u odnosu na iteraciju 2 u intervalu od 450 do 560 nm, što upućuje na korekciju M i Y kanala. Dok su krivulje u intervalu od 620 do 750 nm dobro korigirane pa možemo uočiti njihovo približavanje. U tom intervalu došlo do je i do smanjenja apsorpcije jer je vidljiv pad krivulja ispod 0.1 po apsorpcijskoj vertikali spektrograma.

Blizanac BS1 T3

Blizanac BS1 T3 u vidljivom dijelu (20, 89, 45, 0 CMYK) vidimo poprilično razilaženje u bojama s obzirom na NIR dio (0, 88, 63, 14 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ V} = 74.445, 26.828, -14.58$$

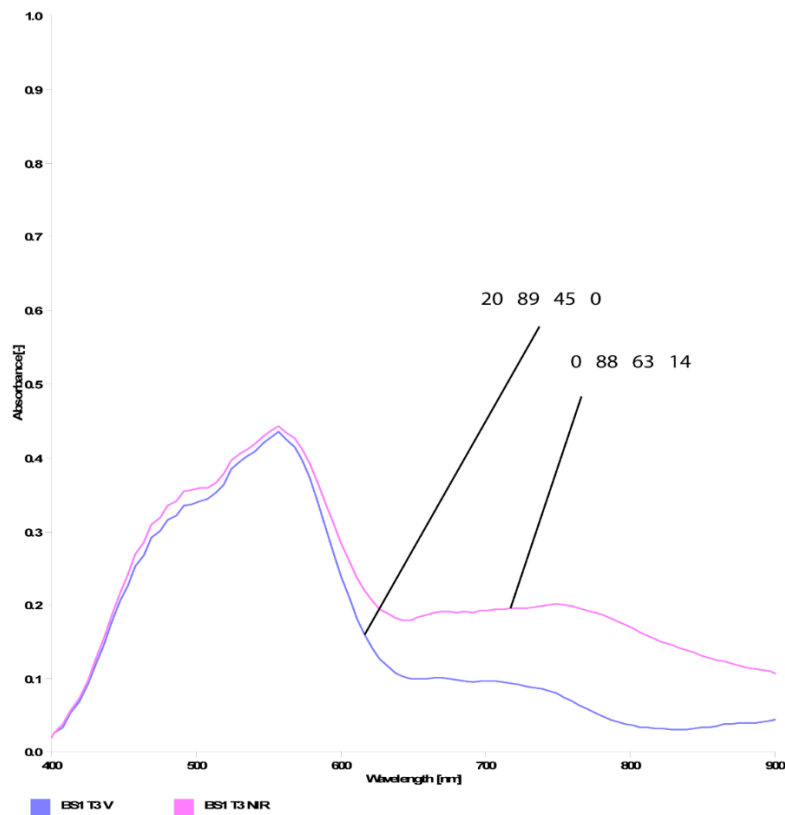
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ NIR} = 72.492, 22.586, -16.384$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS1\ T3\ V - NIR} = 5.006$$

Za blizanac BS1 T3 vrijednost kolorimetrijske razlike boje između vidljivog i NIR dijela je 5.006. Što znači da je kod ovog blizanca opet došlo do poboljšanja stanja u odnosu na drugu iteraciju.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 20. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS1 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Kao i na prethodnom spektrogramu, imamo generalno poboljšanje blizanca.

Spektrofotometrijske krivulje blizanca BS1 T3 u intervalu od 400 do 580 nm ostale su jednake, dok je od 580 do 750 nm vidljivo poboljšanje približavanjem krivulja vidljivog i NIR dijela blizanca. Za navedenog blizanca preporučuje se korekcija C kanala.

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (20, 91, 50, 0 CMYK) i dalje je drugačije boje od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 V} = 72.923, 28.422, -14.807$$

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 NIR} = 70.253, 20.957, -17.3$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS2 T1 V - NIR} = 8.311$$

ΔE vrijednost za blizanac BS2 T1 je 8.311 te je opet došlo do malog povećanja kolorimetrijske razlike između vidljivog i NIR dijela blizanca. U odnosu na iteraciju 2 gdje je ΔE iznosio 7.864, stoga blizanac mora u daljnju obradu.

Blizanac BS3 T6 u vidljivom dijelu (72, 33, 68, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 V} = 70.591, -3.819, -21.142$$

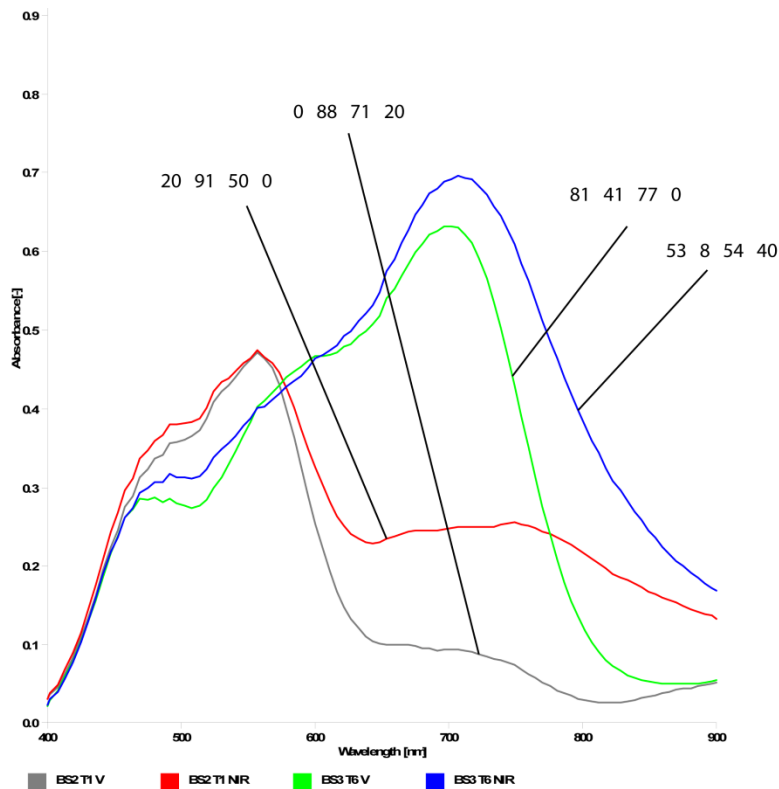
$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 NIR} = 69.787, -1.319, -21.874$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3 T6 V - NIR} = 2.726$$

ΔE vrijednost za blizanac BS3 T6 prema formuli za kolorimetrijsku razliku u boji je 2.726, što upućuje da je došlo do poboljšanja razlike u boji između reprodukcije za vidljivi i NIR spektar.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 21. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Iz spektrograma je vidljivo da je i u ovom segmentu eksperimenta došlo do poboljšanja približavanjem linija, što upućuje na dobar tijek eksperimenta. Kod krivulja blizanca BS2 T1 vidljivo je poboljšanje od 400 do 650 nm, dok na 700 nm imamo stagnaciju stanja jer nema značajnijeg pomaka krivulja.

Kod blizanca BS3 T6 veliko poboljšanje imamo u intervalu od 550 nm do 650 nm dok je na 500 nm i 700 nm, u Y i C kanalu potrebna korekcija. U NIR dijelu spektra nema promjena. Promatranjem spektrofotometrijskih krivulja te vizualnim proučavanjem blizanca uz vrijednosti kolorimetrijskih razlika u boji, možemo zaključiti da blizanci moraju u daljnje korekcije.

Blizanci BS2 T3

Blizanac BS2 T3 u vidljivom dijelu (33, 90, 20, 0 CMYK) drugačije je nijanse od NIR dijela (0, 85, 15, 33 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ V} = 72.579, 20.660, -19.622$$

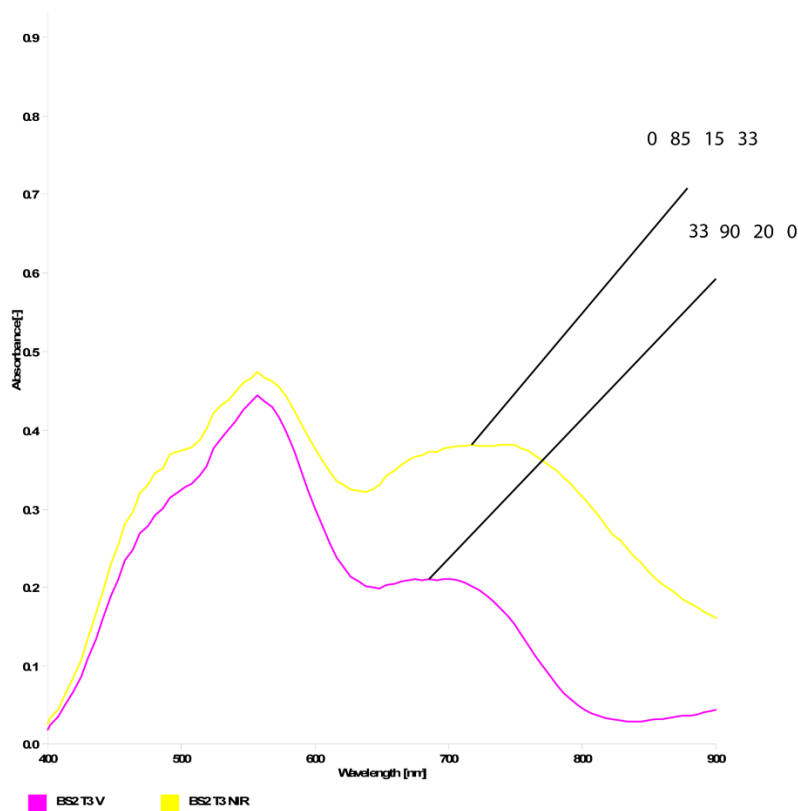
$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ NIR} = 68.809, 15.961, -21.269$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2\ T3\ V - NIR} = 6.245$$

ΔE vrijednost za blizanac BS2 T3 je u drugoj iteraciji bila je 7.531 što znači da je došlo do poboljšanja, no kolorimetrijska razlika u mjerenim bojama je i dalje velika pa blizanac mora u danje korekcije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 22. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Kod spektrograma blizanca BS2 T3 došlo je do većeg razdvajanja krivulja s obzirom na iteraciju 2 te bi trebalo napraviti korekcije u svim kanalima. No najveće razdvajanje krivulja vidljivo je na otprilike 720 nm te će C kanal trebati najdrastičnije korigirati.

Blizanci BS3 T3

Blizanac BS3 T3 u vidljivom dijelu (15, 90, 50, 0 CMYK) drugačije je nijanse od reprodukcije pripremljene za NIR dio (0, 89, 69, 9 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ V} = 71.744, 19.536, -20.536$$

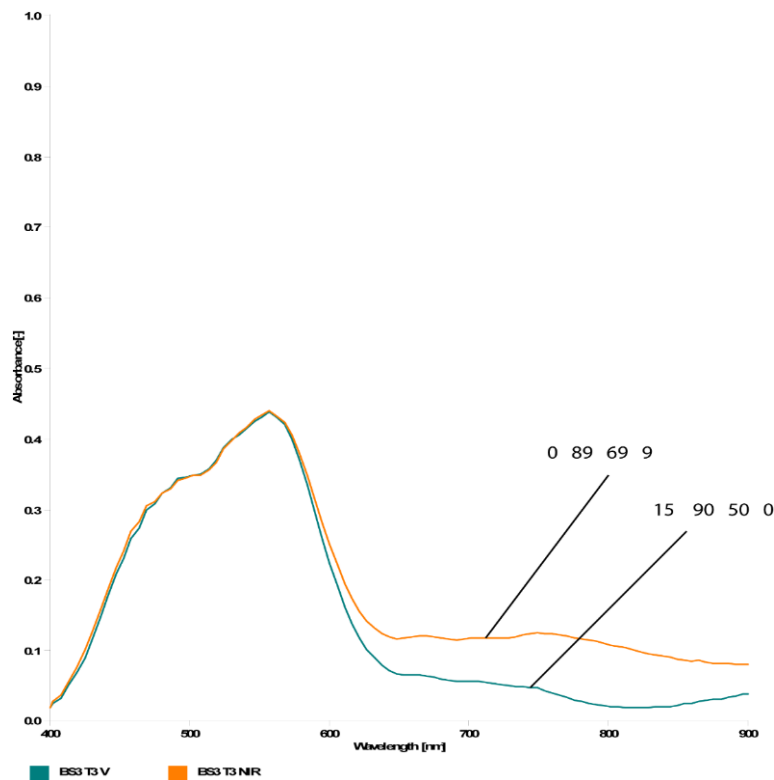
$$L^*a^*b^*_{BS3\ T3\ NIR} = 71.548, 19.209, -21.306$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3\ T3\ V - NIR} = 0.859$$

ΔE vrijednost za blizanca BS3 T3 je 0.859 te je došlo popriličnog poboljšanja stanja. U 2. iteraciji kolorimetrijska razlika bila je 5.95 što je puno više od one dobivene u 3. iteraciji. Stoga možemo zaključiti da je ovaj blizanac vrlo korigiran.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



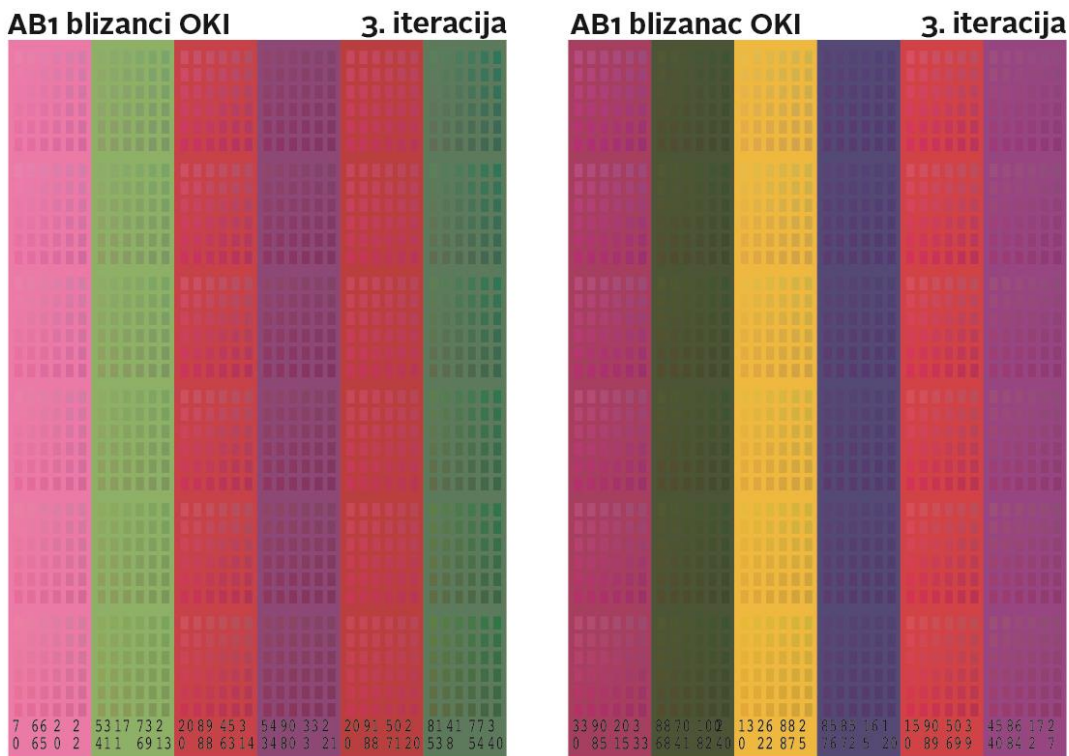
Graf 23. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanac BS3 T3, u vidljivom i NIR dijelu

Iz spektrograma se također može vidjeti da je došlo do poboljšanja za blizanca BS3 T3 jer se s obzirom na 2. iteraciju razdvajanje krivulja nakon 600 nm smanjilo. No vizualno boje iz dva područja blizanca dosta odstupaju jedna od druge te se zaključuje da ovaj bliznac mora na daljnje korekcije. Korekcije će se prema spektrogramu morati napraviti u C kanalu.

Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 3. iteraciju AB1 blizanci OKI

U ovoj fazi eksperimenta odredit će se nove vrijednosti po CMYK kanalima čime utječemo na krajnji ishod eksperimenta. Sve iteracije podešavaju se u odnosu na izabrane vrijednosti iz generiranih programskih rješenja sve dok rezultat ne bude vizualno dobar te se zatim prelazi u drugu, delikatnu fazu eksperimenta gdje se dodatna podešavanja, ukoliko su potrebna, rade prema spektrogramu blizanaca nakon čega se radi finalno računanje vrijednosti kolorimetrijskih razlika, kao što je prikazano u iteracijama koje su prethodile.

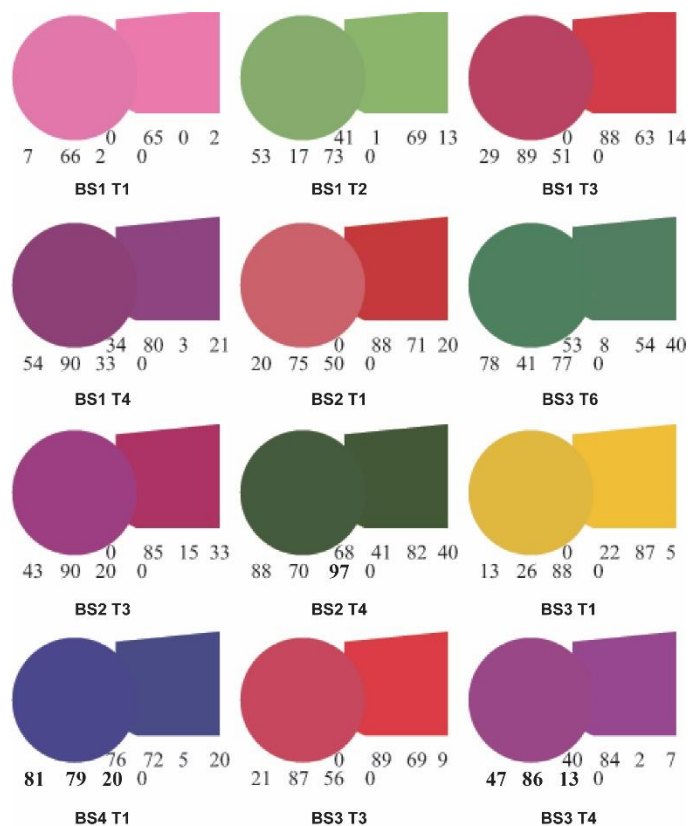
Tablica 4. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka



U trećoj iteraciji su prema programskoj tablici određene nove vrijednosti blizanaca testnog lista AB1 blizanci OKI:

- Blizanac BS1 T1 pomaknut je na 1 korak, stanje se nije mijenjalo:
7, 66, 2, 0
- Kod blizanca BS1 T3 došlo je do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
29, 89, 51, 0
- Kod blizanca BS2 T1 došlo je do promjene M kanala, novo stanje je:
20, 75, 50, 0
- Kod blizanca BS3 T6 došlo je do promjene C kanala, novo stanje je:
78, 41, 77, 0
- Kod blizanca BS2 T3 došlo je do promjene C kanala, novo stanje je:
43, 90, 20, 0
- Kod blizanca BS3 T3 došlo je do promjene po svim kanalima, novo stanje je:
21, 87, 56, 0

Četvrta iteracija



ITERACIJA 4

Slika 11. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata za 4. iteraciju

Analiza u ovoj fazi podrazumijeva pregled koliko su se blizanci popravili od prve do četvrte iteracija, idu li sve iteracije prema očekivanom rezultatu, smanjuje li se kolorimetrijska razlika u boji.

Blizanci BS1 T1

Blizanac BS1 T1 u vidljivom dijelu (7, 66, 2, 0 CMYK) te nakon treće iteracije imamo poprilično dobro preklapanje s bojom pripremljenom za NIR reprodukciju (0, 65, 0, 2 CMYK). Treba li ovaj blizanac na daljnje prepravke, utvrdit će se analizom spektrograma i ukoliko ΔE bude zadovoljavajući. CIE L*a*b* vrijednosti BS1 T1 blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T1\ V} = 80.578, 24.451, -10.587$$

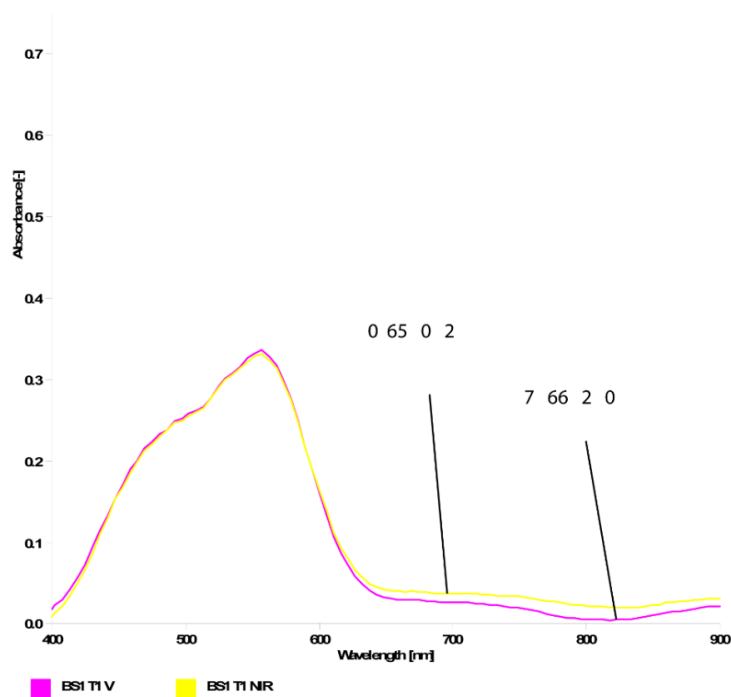
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T1\ NIR} = 80.556, 23.816, -11.150$$

Prema dobivenim vrijednostima izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR} = 0.848$$

Prema vrijednosti $\Delta E_{BS1\ T1\ V - NIR}$ za blizanca BS1 T1 vrijednost kolorimetrijske razlike između vizualnog i NIR dijela je 0.848 te prema tome možemo konstatirati da je blizanac uspješno korigiran uz činjenicu da je preklapanje boja pripremljenih za vidljivi i NIR dio spektra i vizualnom procjenom jako dobar što je vidljivo i na slici 11.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 24. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanci BS1 T1 u vidljivom i NIR dijelu

Usporedbom spektrofotometrijskih krivulja primjećujemo jako dobro preklapanje krivulja. Za blizanac BS1 T1 imamo izvrsno preklapanje duž cijelog vidljivog spektra, do malog razdvajanja dolazi na 650 nm te se isti, vrlo mali razmak između krivulja dva spektra nastavlja i u NIR dijelu. Kako je navedeni razmak vrlo mali, ΔE blizanca je ispod jedan te je i vizualnom procjenom razlika u bojama neznatna, blizanac BS1 T1 se označava spremnim za reprodukciju.

Blizanci BS1 T3

Kod blizanca BS1 T3 u vidljivom dijelu (29, 89, 51, 0 CMYK) od zadnje iteracije došlo je do promjene u C i Y kanalu. Vidljivi dio je u ovoj fazi tamnije nijanse od NIR dijela (0, 88, 63, 14 CMYK) blizanca, dok je u fazi prije, trećoj iteraciji bio svjetliji. Ukupno gledano, došlo je do poboljšanja, jer se smanjila vizualna razlika u boji između dva djela blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ V} = 72.880, 23.746, -15.7$$

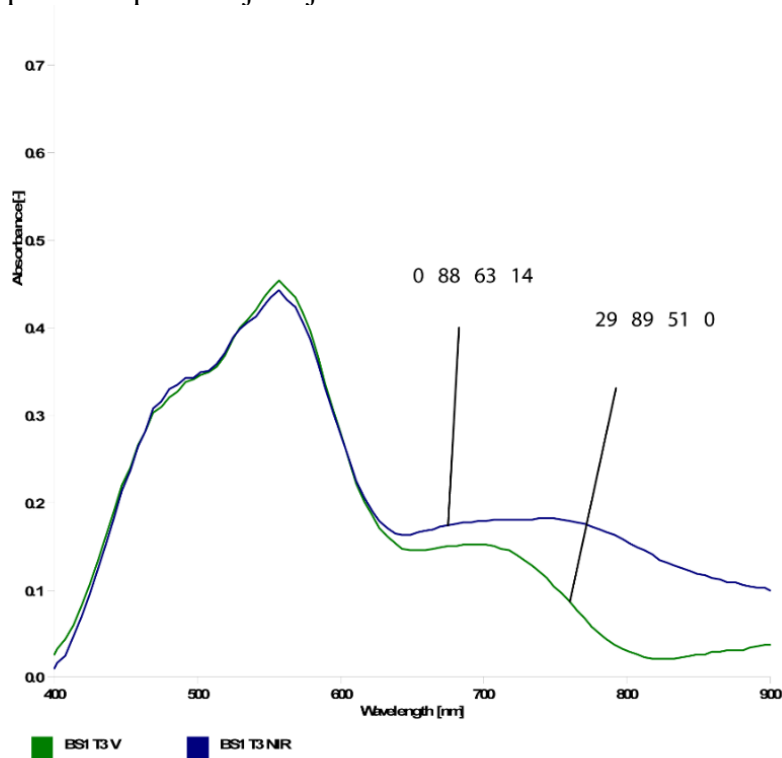
$$L^*a^*b^*_{BS1\ T3\ NIR} = 73.025, 23.132, -15.996$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS1\ T3\ V - NIR} = 0.696$$

Za blizanca BS1 T3 prema formuli za računanje ΔE vrijednost kolorimetrijska razlike boje blizanca je 0.696. To znači da je ovaj blizanac poprilično dobar te ćemo prema krivulji vidjeti treba li napraviti dodatne korekcije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 25. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS1 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Kod blizanca je napravljena korekcija u C i Y kanalu te je prema spektrofotometrijskim krivuljama vidljivo poboljšanje s obzirom na spektrogram treće iteracije. Spektrogrami blizanca BS1 T3 imaju jako dobro preklapanje sve do 650 nm nakon čega dolazi do malog razdvajanja krivulja vidljivog i NIR djela. Kako je $\Delta E_{BS1 T3 V - NIR} = 0.696$ te se krivulje vrlo dobro preklapaju možemo zaključiti da je ovaj blizanac spreman za reprodukciju.

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (20, 75, 50, 0 CMYK) puno je svjetlije nijanse od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 V} = 75.969, 23.054, -13.311$$

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 NIR} = 71.604, 21.511, -16.474$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS2 T1 V - NIR} = 5.607$$

U četvrtoj iteraciji došlo je do poboljšanja kod blizanca BS2 T1 te je s obzirom na prethodnu iteraciju vrijednost poboljšanja 2,704. Uvidom u spektrogram odlučit će se o daljnjem postupanju s blizancem te ukoliko je vizualno preklapanje dobro, kao i preklapanje spektrofotometrijskih krivulja, blizanac je spreman za reprodukciju.

Blizanac BS3 T6 u vidljivom dijelu (72, 43, 68, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 V} = 72.424, -3.237, -19.349$$

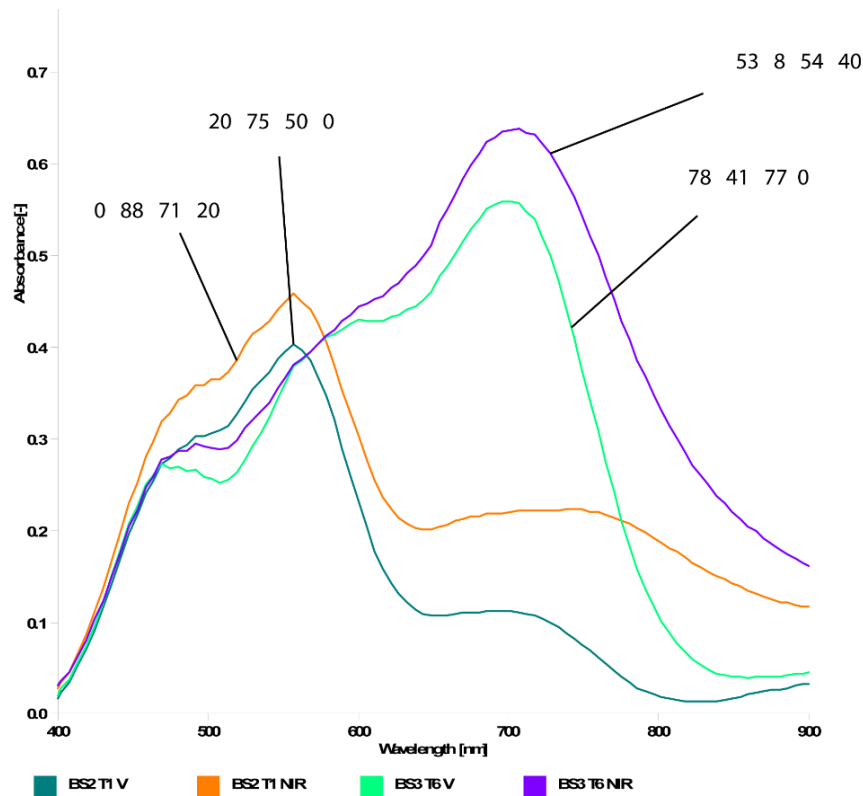
$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 NIR} = 71.220, -2.185, -20.834$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3 T6 V - NIR} = 2.182$$

Prema formuli boja, za blizanca BS3 T6 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je 2.182, što znači da je došlo do poboljšanja od prethodne iteracije i to ukazuje da su ispravno napravljene korekcije za tog blizanca.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 26. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Na spektrogramu blizanca BS2 T1 i BS3 T6 vidimo dva para krivulja koje se u potpunosti razlikuju jer se radi o dvije potpuno različite boje. Spektrofotometrijske krivulje BS2 T1 blizanca imaju pik na 550 nm te je na tom dijelu dobro preklapanje sve do 600 nm gdje dolazi do značajnog odvajanja krivulja. Kod blizanca BS3 T6 pik je na 700 nm te je ujedno tu i veliko razdvajanje krivulja za vidljivi i NIR spektar. U NIR dijelu spektra imamo očekivani rezultat gdje se krivulje oba blizanca za prikaz u vidljivom dijelu spektra sastaju na otprilike 0.05 točaka po apsorpcijskoj vertikali. Dok je kod krivulja pripremljenih za prikaz NIR dijela spektra razlika u apsorpciji zbog različito definiranog K kanala. Kod BS2 T1 blizanca K kanal je 20 %, dok je kod blizanca BS3 T6 K kanal definiran 40 %. Iz spektrograma možemo zaključiti da oba blizanca trebaju na dodatno korigiranje C kanala.

Blizanac BS2 T3 u vidljivom dijelu (43, 90, 20, 0 CMYK) drugačije je nijanse boje od NIR dijela (0, 85, 15, 33 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ V} = 74.014, 20.207, -18.507$$

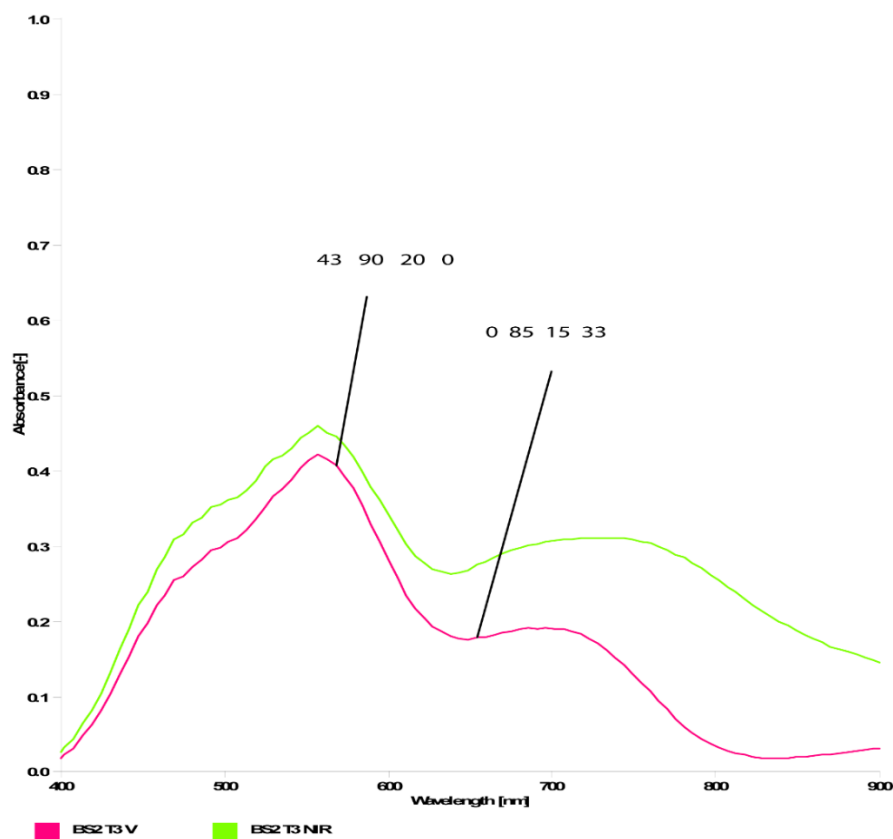
$$L^*a^*b^*_{BS2\ T3\ NIR} = 70.483, 18.015, -19.403$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS2\ T3\ V - NIR} = 4.648$$

Delta E vrijednost za blizanca BS2 T3 je 4.648 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti još uvijek loš, no ipak je došlo do poboljšanja s obzirom na prethodnu, treću iteraciju gdje je vrijednost ΔE bila 6.245.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 27. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Krivulje blizanca BS2 T3 imaju pik na 550 nm i razdvajanje krivulja duž cijelog spektra. Malo, ali nedovoljno približavanja krivulja primjećuje se na 700 nm te je potrebno napraviti korekciju u svim kanalima.

Blizanac BS3 T3 u vidljivom dijelu (21, 87, 56, 0 CMYK) vizualno dosta dobro korespondira s bojom iz NIR dijela (0, 89, 69, 9 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T3 V} = 74.513, 24.964, -14.367$$

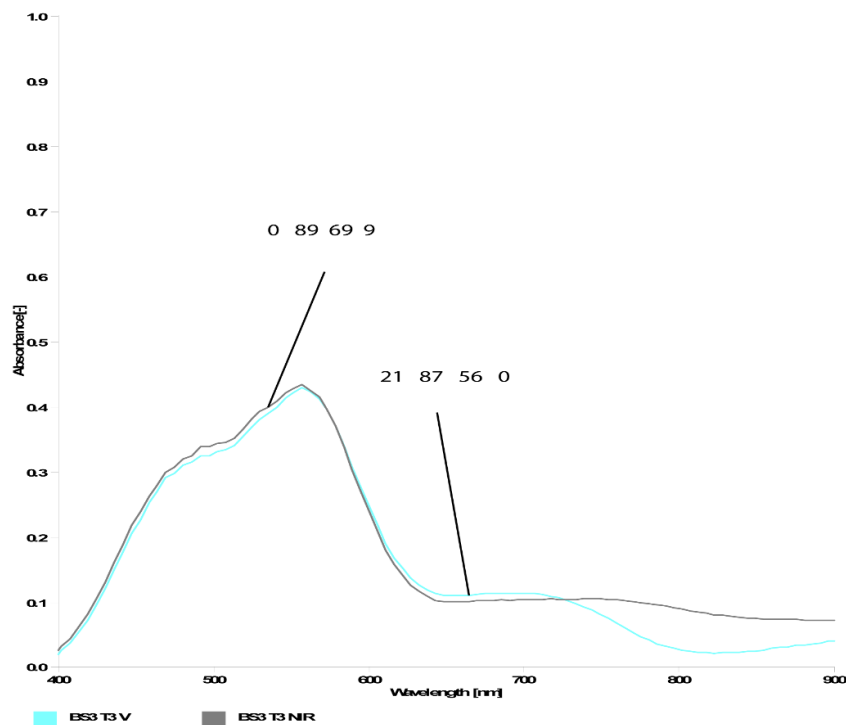
$$L^*a^*b^*_{BS3 T3 NIR} = 74.416, 26.251, -13.196$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS3 T3 V - NIR} = 1.742$$

Delta E vrijednost za blizanac BS3 T3 je 1.742 te je blizanac prema dobivenoj vrijednosti krivo korigiran u prethodnoj iteraciji jer je došlo do povećanja kolorimetrijske razlike dvije boje blizanca.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



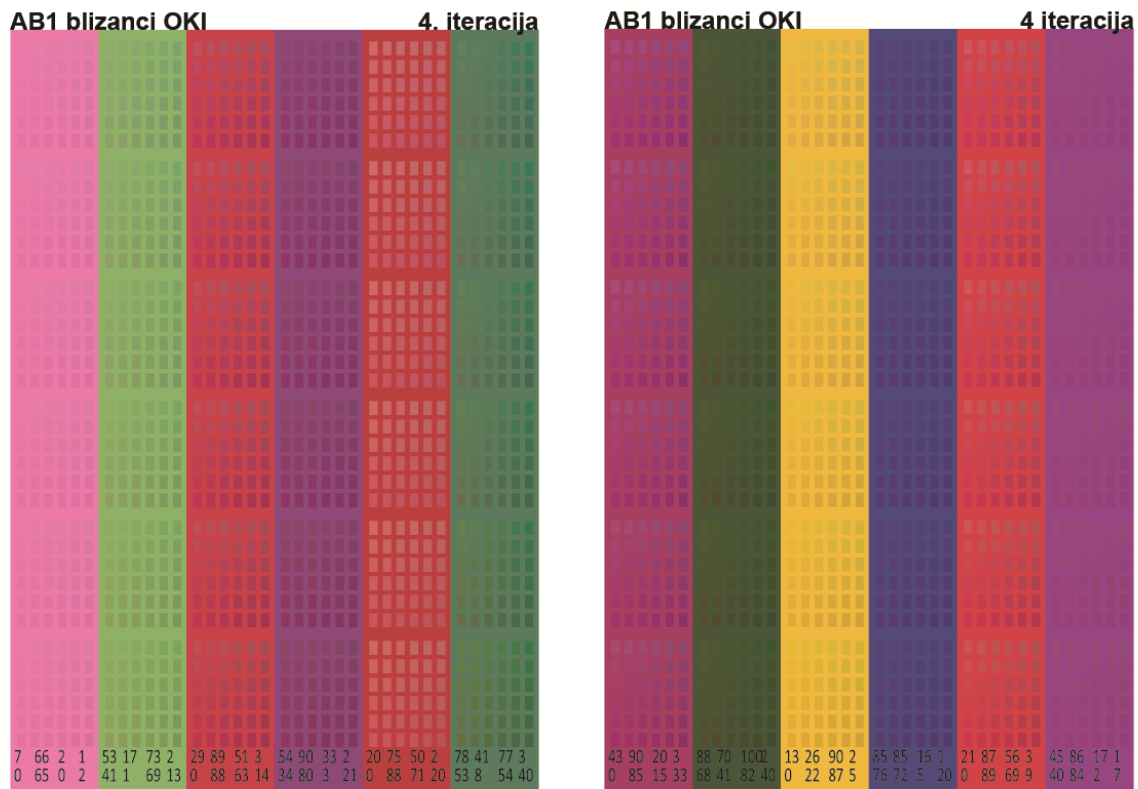
Graf 28. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS3 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Vidimo da se radi o poprilično dobro izvedenom blizancu te je preklapanje prisutno gotovo duž cijelog vidljivog spektra, uzmemo li u obzir da je delta E manji od tri te da je vizualno preklapanje poprilično dobro, možemo zaključiti da je blizanac BS3 T3 spreman za reprodukciju.

Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 4. iteraciju AB1 blizanci OKI

U pripremi za petu iteraciju ostala su još tri blizanca; BS2 T1, BS3 T6 i BS2 T3. Radi se o crvenoj, zelenoj i ružičastoj boji. Zelena jako dobro korespondira no potrebno je napraviti manje preinake kako bi se krivulje na pikovima više približile i čime ostvarujemo i bolji vizualni rezultat. Kod blizanaca gdje je bazna boja magenta (crvena i ružičasta) dolazi do malo jačeg odstupanja te će se na njima raditi značajnije korekcije.

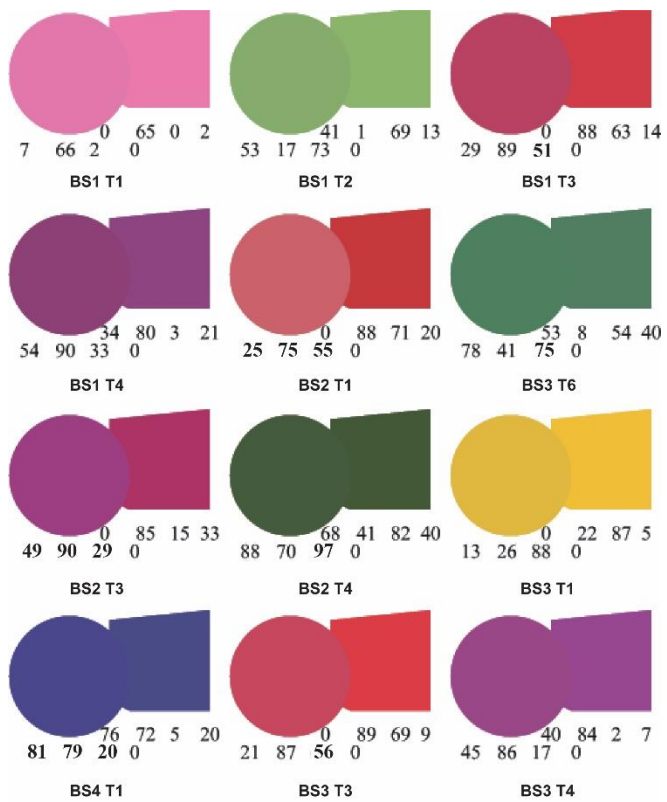
Tablica 5. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka



U četvrtoj iteraciji su prema programskoj tablici određene nove vrijednosti blizanaca testnog lista AB1 blizanci OKI:

- Kod blizanca BS2 T1 došlo je do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
25, 75, 55, 0
- Kod blizanca BS3 T6 došlo je do promjene Y kanala, novo stanje je:
78, 41, 75, 0
- Kod blizanca BS2 T3 došlo je do promjene C kanala, novo stanje je:
49, 90, 29, 0

Peta iteracija



ITERACIJA 5

Slika 12. AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata za 5. iteraciju

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (25, 75, 50, 0 CMYK) puno je svjetlije nijanse od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 V} = 75.820, 20.559, -13.873$$

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 NIR} = 72.030, 22.565, -16.849$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS2 T1 V - NIR} = 5.219$$

I u petoj iteraciji došlo je do poboljšanja kod blizanca BS2 T1 te je trenutna vrijednost razlike boja u odnosu na četvrtu iteraciju iznosi 0.388. Pomak u razlici boja je mali pa će se na taj način i spektrogram blizanca ponašati. Važno je postići približavanje i preklapanje krivulja na 700 nm, gdje je uočeno najveće razdvajanje.

Bliznac BS3 T6 u vidljivom dijelu (78, 41, 75, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 V} = 71.923, -3.242, -19.055$$

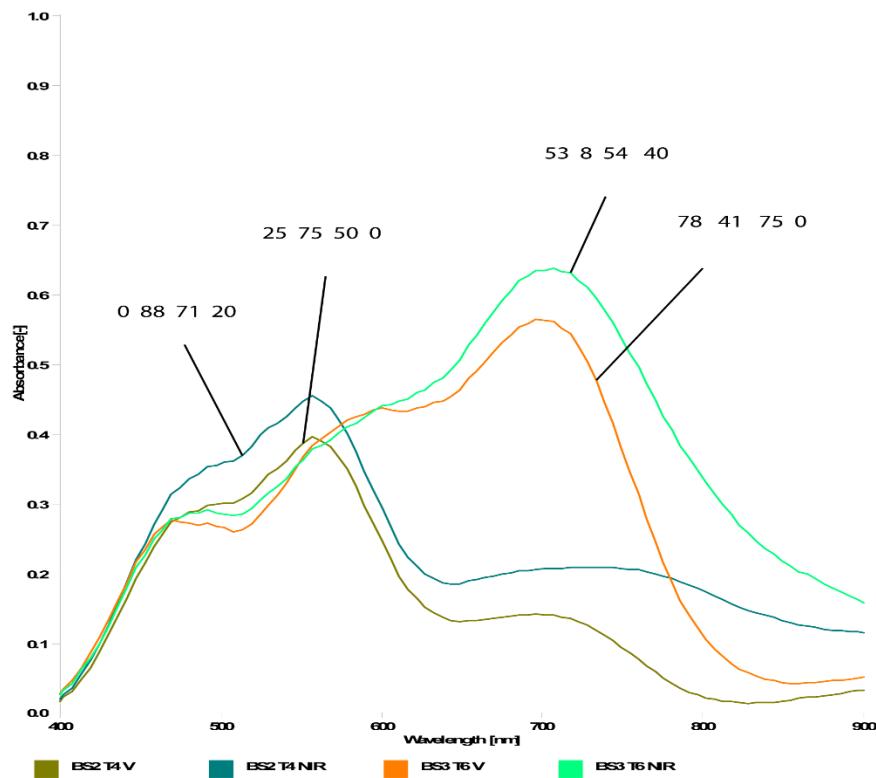
$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 NIR} = 71.459, -2.478, -20.244$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS3 T6 V - NIR} = 1.487$$

Kod blizanca BS3 T6 vrijednost kolorimetrijske razlike boje je umanjena za 0.695 te sada iznosi 1.487. Došlo je do pozitivnog pomaka od prethodne iteracije.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 29. AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Na spektrogramu vidimo mali pomak koji je bio očekivan s obzirom na manje smanjenje kolorimetrijske razlike u boji te je trenutno razmak između krivulja na 500 nm i 700 nm gotovo jednak, dok je na 600 nm gdje pratimo magentu, on nešto manji. Prema podacima s grafa i iz generirane programske tablice za višestruko praćenje flore u dva spektra, odlučeno je da će se drastičnije promjene napraviti u C i Y kanalu.

Na spektrogramu blizanaca BS3 T6 također je došlo do približavanja krivulja, za čime se teži u eksperimentu. Ali bez obzira na bolji rezultat, ima značajna odstupanja na 500 nm i na 700 nm, što ukazuje da će se i za ovog blizanca najveće preinake raditi u C i Y kanalu.

Blizanci BS2 T3

Blizanac BS2 T3 u vidljivom dijelu (43, 90, 20, 0 CMYK) drugačije je boje od NIR dijela (0, 85, 15, 33 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T3 V} = 70.538, 17.599, -20.514$$

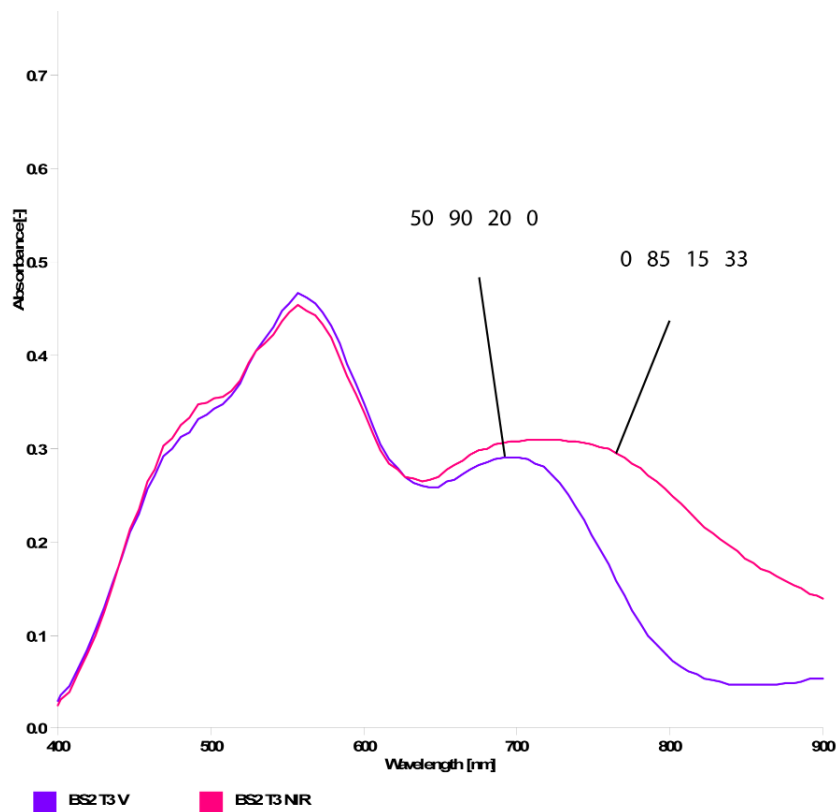
$$L^*a^*b^*_{BS2 T3 NIR} = 70.819, 17.485, -19.654$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2 T3 V - NIR} = 0.911$$

Vrijednost kolorimetrijske razlike za boje blizanca BS2 T3 je 0.911 što je jako dobar rezultat te je blizanac u završnoj fazi korekcije. Pregledom spektrograma bit će odlučeno je li blizanac spreman za reprodukciju.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



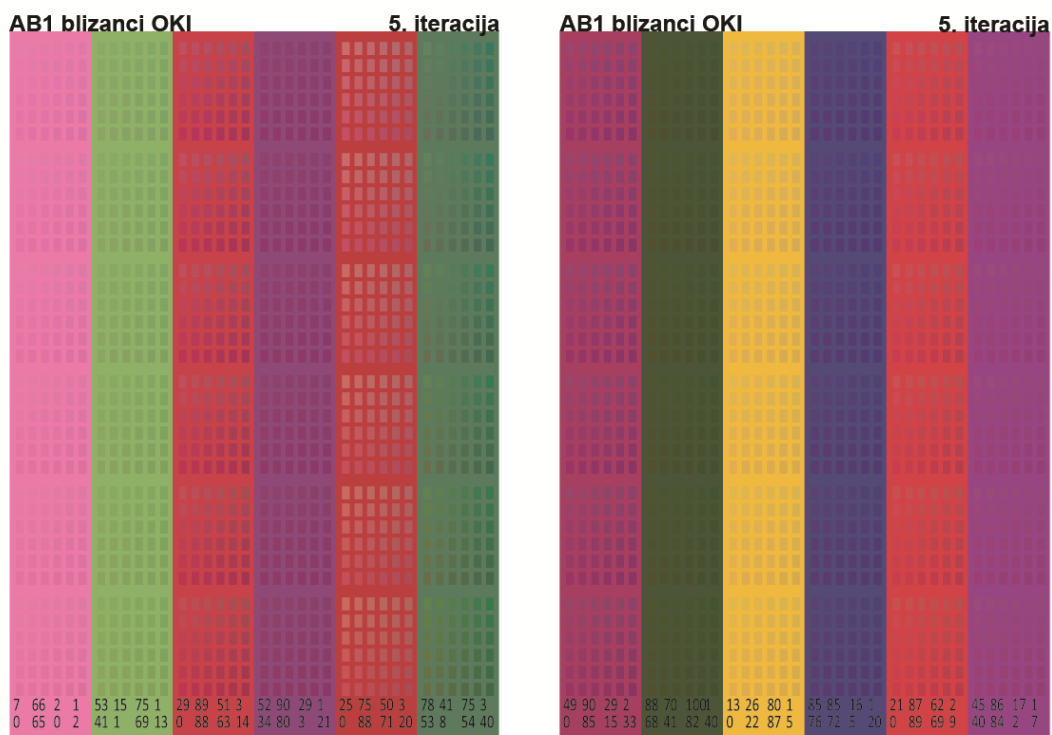
Graf 30. AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu

Krivulje blizanca BS2 T3 se jako dobro preklapaju duž cijelog spektra, do malog odstupanja dolazi na 650 nm te se nastavlja do kraja vidljivog spektra. Nakon 750 nm te duž intervala kojeg pratimo u NIR spektru, krivulje se ponašaju očekivano i možemo zaključiti da je blizanac BS2 T3 spreman za reprodukciju.

Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 5. iteraciju AB1 blizanci OKI

Za petu iteraciju ostala su još dva blizanca, u sljedećim koracima korigirat će se preostali uzorci. Kod oba blizanca definirano da će se raditi korekcije u C i Y kanalu te će se prema programu za višestruko praćenje flore u dva spektra definirati točne CMYK vrijednosti za navedene blizance.

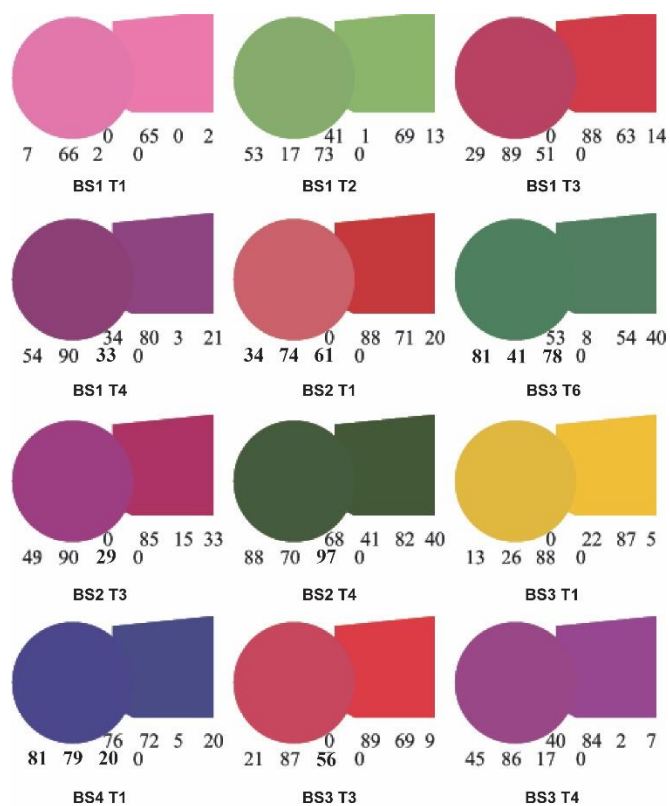
Tablica 6. AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka



U petoj iteraciji su prema programskoj tablici određene nove vrijednosti blizanaca testnog lista AB1 blizanci OKI:

- Kod blizanca BS2 T1 došlo je do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
34, 74, 61, 0
- Kod blizanca BS3 T6 došlo je do promjene Y kanala, novo stanje je:
81, 41, 78, 0

Šesta iteracija



ITERACIJA 6

Slika 13. AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata za 6. iteraciju

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (34, 74, 61, 0 CMYK) puno je svjetlije nijanse od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 V} = 74.186, 18.194, -14.782$$

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 NIR} = 71.908, 21.896, -15.715$$

Iz tih vrijednosti izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca, koja iznosi:

$$\Delta E_{BS2 T1 V - NIR} = 4.445$$

Imamo ponovno poboljšanje i u šestoj iteraciji gdje je kolorimetrijska razlika s 5.219 pala na 4.445 te je vidljivo da su komponente uzorka dobro korigirane. Pregledom spektrograma ovoga blizanca dobit ćemo informaciju koje bi komponente blizanca trebalo korigirati.

Bliznac BS3 T6 u vidljivom dijelu (81, 41, 78, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 V} = 72.528, -2.847, -18.958$$

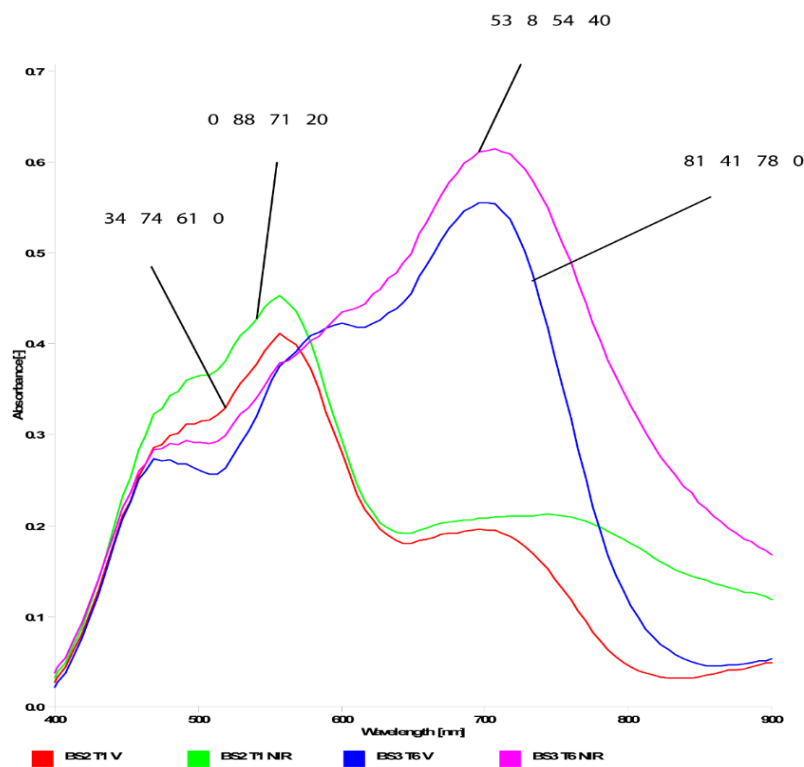
$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 NIR} = 71.421, -2.284, -18.978$$

Iz tih vrijednosti izračunata je ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca, a iznosi:

$$\Delta E_{BS3 T6 V - NIR} = 1.242$$

Kod blizanca BS3 T6 zamjećujemo malo poboljšanje u odnosu na prethodnu iteraciju. Iako vrijednost ΔE je ispod tri, ipak zamjećujemo razilaženje krivulja reproduciranih za vidljiv spektra u odnosu na onaj u NIR spektru blizanca.

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 31. AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, bliznac BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Na spektrogramu zamjećujemo malo poboljšanje u odnosu na 5. iteraciju. Blizanac BS2 T1 razilazi se u intervalu od 450 do 570 nm, zatim se na 600 nm krivulje preklapaju sve do 640 nm. To upućuje da se značajnije korekcije moraju definirati za Y kanal, za C kanal trebala bi se napraviti manja korekcija, dok se M kanal ne mora korigirati.

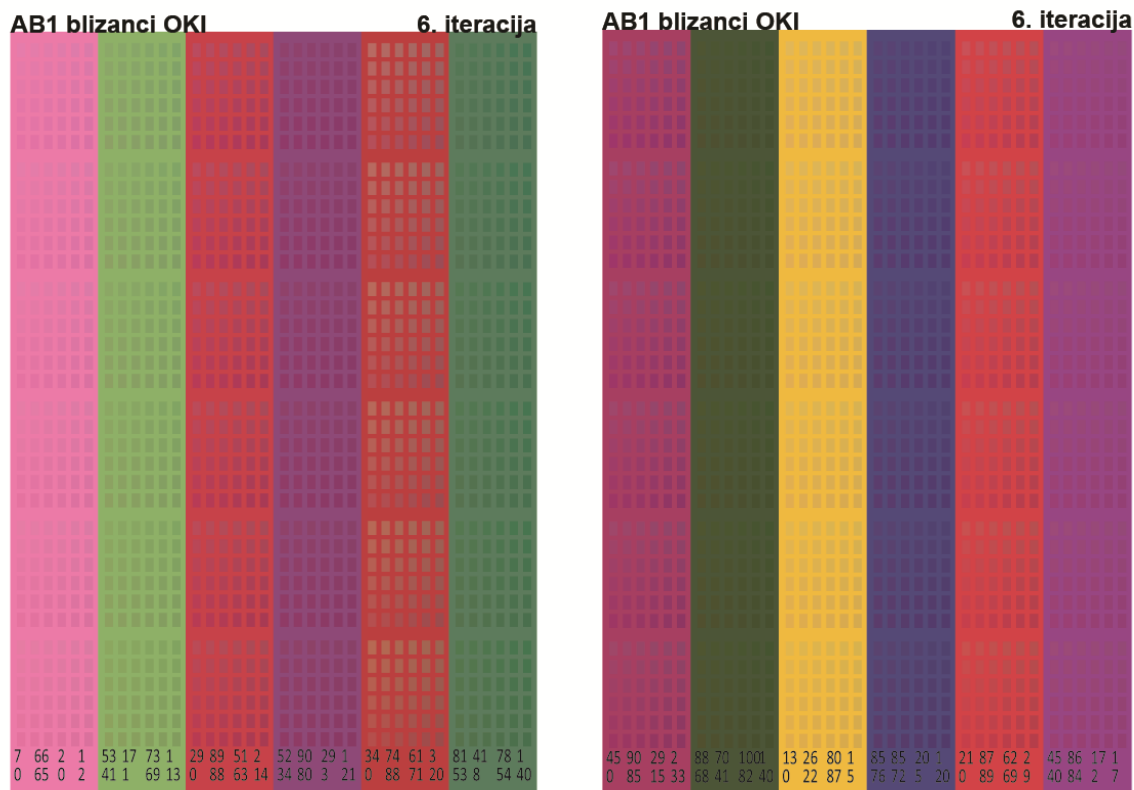
Kod blizanca BS3 T6 primjećujemo vrlo malo poboljšanje pa se zaključuje da se korekcija treba nastaviti prema istim smjernicama iz prethodne iteracije.

Vizualna usporedbu blizanaca s definiranim korakom pomaka za 6. iteraciju AB1 blizanci OKI

U šestoj iteraciji se i dalje rade korekcije za blizance BS2 T1 i BS3 T6. Kako kroz faze eksperimenta primjećujemo poboljšanje izmjerenih vrijednosti, pretpostavka je da će se i dva preostala blizanca uskoro uspješno izbalansirati te će biti spremni za reprodukciju.

Kako je blizanac BS3 T6 dosta blizu željenog rezultata, korak programa spušta se s 2 na 1 te će se razlike u programskoj generiranoj tablici pomicati za 1 %. Za blizanac BS2 T1 vrijednost koraka je i dalje početna od 3 %.

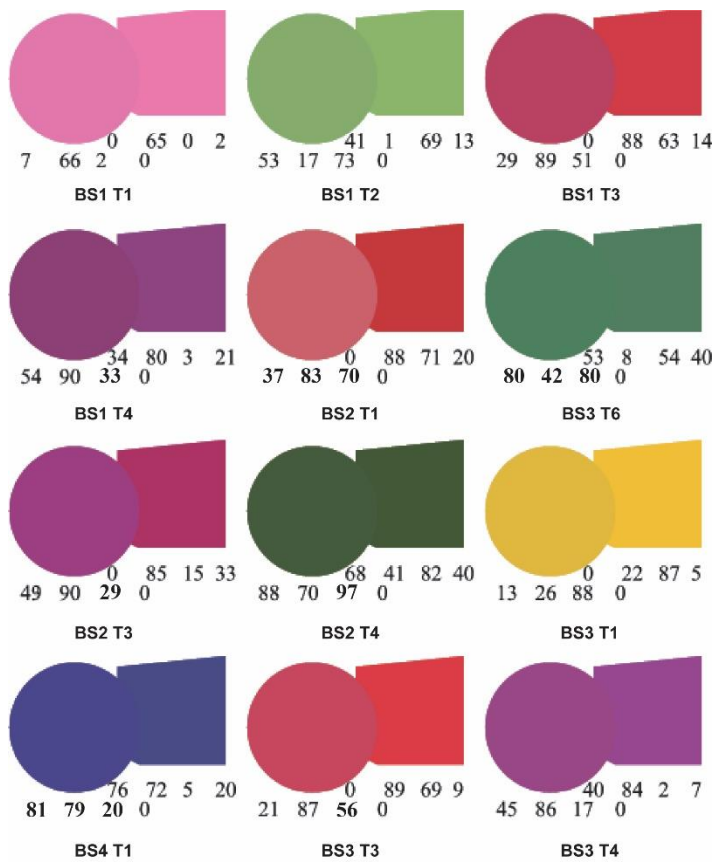
Tablica 7. AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, algoritam za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka



U šestoj iteraciji su prema programskoj tablici određene nove vrijednosti blizanaca testnog lista AB1 blizanci OKI:

- Kod blizanca BS2 T1 došlo je do promjene C i Y kanala, novo stanje je:
37, 83, 70, 0
- Kod blizanca BS3 T6 došlo je do promjene svih kanala, novo stanje je:
80, 42, 80, 0

Sedma iteracija



ITERACIJA 7

Slika 14. AB1 Blizanci OKI, 7. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Analiza rezultata za 7. iteraciju

Blizanci BS2 T1 i BS3 T6

Blizanac BS2 T1 u vidljivom dijelu (37, 83, 70, 0 CMYK) puno je svjetlije nijanse od NIR dijela (0, 88, 71, 20 CMYK) blizanca. CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 V} = 70.302, 19.277, -17.809$$

$$L^*a^*b^*_{BS2 T1 NIR} = 69.178, 19.199, -19.135$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca:

$$\Delta E_{BS2 T1 V - NIR} = 1.74$$

Imamo poprilično poboljšanje u kolorimetrijskoj razlici između iteracije šest i sedam te trenutna vrijednost ΔE iznosi 1.74. Uvidom u spektrogram ovoga blizanca procijenit će se ide li on u daljnju korekciju ili je trenutni rezultat zadovoljavajući.

Bliznac BS3 T6 u vidljivom dijelu (80, 42, 80, 0 CMYK) svjetlije je nijanse od NIR dijela (53, 8, 54, 40 CMYK). CIE L*a*b* vrijednosti ovog blizanca su:

$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 V} = 70.511, -2.272, -19.519$$

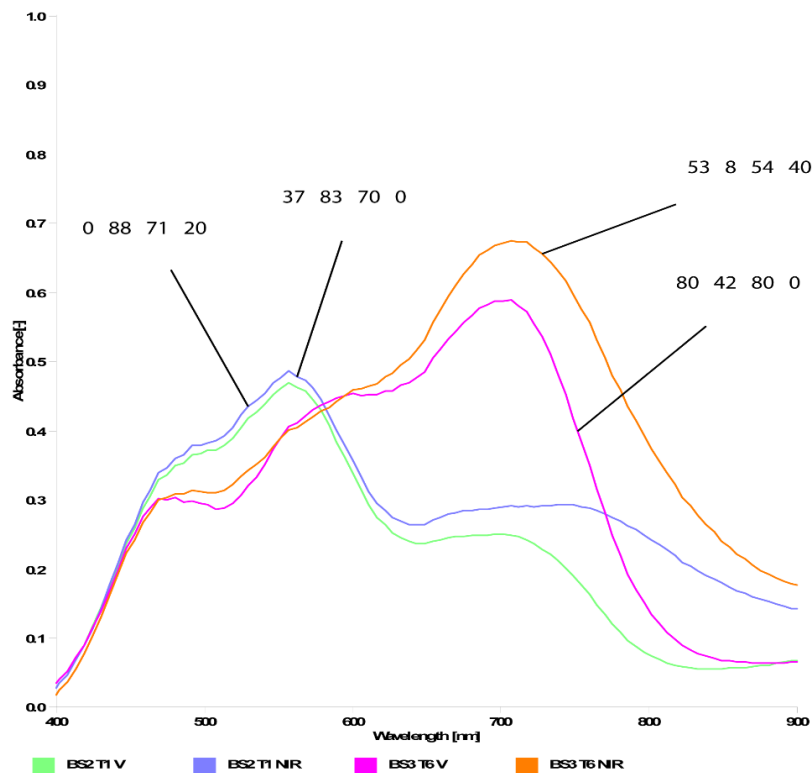
$$L^*a^*b^*_{BS3 T6 NIR} = 69.932, -1.127, -21.182$$

Iz tih vrijednosti je izračunata ukupna razlika boje između vidljivog i NIR dijela blizanca.

$$\Delta E_{BS3 T6 V - NIR} = 2.1004$$

Kod blizanca BS3 T6 zamjećujemo pogoršanje, odnosno, povećanje se kolorimetrijske razlike, no kako je ΔE blizanca ispod tri, a vizualno preklapanje boja u vidljivom i NIR dijelu blizanca je vrlo dobro, pretpostavaka je da je bliznac zadovoljavajuće kvalitete .

Spektroskopskim mjerenjem dobili smo ove rezultate:



Graf 32. AB1 Blizanci OKI, 7. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Na spektrogramu zamjećujemo malo poboljšanje kod blizanca BS2 T1, krivulje se preklapaju u većem dijelu vidljivog spektra, a do zanemarivog razdvajanja krivulja dolazi nakon 600 nm. Kod blizanca BS3 T6 dolazi do malog poboljšanja u intervalu od 450 do 550 nm, dok je na 700 nm i dalje prisutno razdvajanje krivulja. Zaključujemo da se zbog vrlo dobrog vizualnog preklapanja blizanca i zbog činjenice da su ΔE vrijednosti oba blizanca ispod tri, što znači da se dva uvjeta kreiranja blizanca zadovoljena, uz manja odstupanja kod pojedinih intervalima na spektrogramu. Zaključujemo da se nad njima više neće raditi korekcije, čime završavamo s prvim testnim listom kodnog imena AB1 Blizanci OKI te zaključujemo da su svi testirani blizanci bojila spremni za reprodukciju.

3.2.3 Zaključak eksperimenta mjerenja jednakosti blizanca bojila

Eksperiment AB Blizanci OKI opseženo je i dugotrajno testiranje koje je prethodilo glavnom eksperimentu. Mjerila se jednakost dviju boja preko spektrograma i iz izračunate ΔE vrijednosti. Uz mjerenje jednakosti testirali su se i kreirani programi kojima se stvaraju blizanci bojila prema tehnologiji definiranoj INFRAREDESIGN[®] patentom [32]. Prema dobivenim parametrima definirana je baza boja koja je kreirana iz devedeset boja flore koje su zabilježene ZRGB kamerom u prirodnom okruženju. Sve korištene fotografije numerirane su, kao i točke s kojih je digitalnom pipetom očitana vrijednost za svaku boju iz flore.

U disertaciji je opisan tijek eksperimenta za jedan testni list AB1 Blizanac OKI od kreiranih šest: AB2 Blizanac OKI, AB3 Blizanac OKI, AB4 Blizanac OKI, AB5 Blizanac OKI i AB6 Blizanac OKI. Ali je za potrebe disertacije izmjereno svih 6 listova, a opis stvaranja baze, korištene fotografije te dobiveni rezultati prikazani su u poglavlju Prilozi u obliku tabličnog prikaza.

Testni list AB1 Blizanac OKI postavljen je kao temelj eksperimenta jer su se istom metodom testirali svi navedeni blizanci bojila dobiveni iz flore. Testiranjem svih definiranih testnih listova dobili smo spomenutu, dragocjenu bazu koja će koristiti prilikom reprodukcije realnih boja iz prirode u dva spektra.

Ovim eksperimentom dokazano je da su svi segmenti praćenja vrlo bitni prilikom definiranja blizanca te je mjerenje jednakosti dviju boja na prikazani način uspješno izveden. Prikazani

eksperiment definirao je tijek glavnog eksperimenta, čime je osigurana veća preciznost izvođenja i točnost dobivenih rezultata.

3.3. Mjerenje uzoraka flore

U ovoj fazi eksperimenta pristupilo se mjerenju žive flore. Željele su se izmjeriti stvarne vrijednosti pigmenta koji sadrži određena flora. Vrijednosti su se bilježile za oba spektra kako bi naposljetku mogli napraviti kvalitetnu grafičku reprodukciju. Pripremila su se četiri uzorka te je svaki od njih podlegao istom načinu testiranja. U svrhu odabira ispravnog načina očitavanja vrijednosti iz prirode napravljena je spektrofotometrijska usporedba uzoraka boje žive flore i uzoraka boje uzete digitalnim putem [18].

3.3.1. Promatranje i dokumentiranje flore u prirodnom okruženju ZRGB kamerom

Promatranje flore na terenu izvodilo se ZRGB kamerom za snimanja na valnoj duljini od 1000 nm [5]. Tom kamerom uzorci su se vizualno mogli promatrati u NIR dijelu spektra u prirodnom okruženju. Pod prirodnim okruženjem podrazumijeva se sva flora slikana pod sunčevim svjetlom. Na taj način osigurala se veća kvaliteta pri odabiru uzoraka, jer u prirodi flora zbog svog reljefa stvara sjene koje najviše utječu na razliku vrijednosti apsorpcije svjetla u NIR području [33]. U nastavku su prikazane neke od fotografija koje su slikane navedenim fotoaparatom kao prikaz stanja u dva spektra.



Slika 15. Flora u prirodnom okruženju, cvijeće maćuhice slikano ZRGB kamerom



Slika 16. Flora sa sajma Flora Art, cvijeće slikano ZRGB kamerom

Na sjene se mora obratiti pozornost i prilikom snimanja uređajem Projectini Docucentar 4500. Budući da je flora evolucijski razvila obrambene mehanizme kojima se štiti od vanjskih utjecaja, postoje razne površinske strukture kojima se kod snimanja uzoraka pristupa na različite načine. Svaki uzorak: latica, list, kora ili stapka imao je poseban način pripremanja za snimanje kako bi se osigurao najbolji rezultat i istinitost snimanih podataka.

Važno svojstvo flore u NIR dijelu spektra je da flora reflektira svo sunčevo zračenje te će većina biti u potpunosti bijela ako je promatramo filterima iznad 750 nm [18], iznimku čini kora čiji je odaziv tamnosiv ili crn. Na slikama je to vrlo lijepo prikazano pa vidimo da svo cvijeće ima bijeli odaziv osim dijelova koji su u sjeni, što znači da do njih ne dopire potpuna, direktna svjetlost te je taj dio sivkaste boje. Uz cvijeće možemo primijetiti i zemlju koja je također organskog podrijetla, koja svojom crnom bojom kazuje da je tu došlo do gotovo potpune apsorpcije sunčevog svjetla.

Za potrebe ove disertacije flora se snima i prati sustavno već godinama čemu i svjedoči velika baza fotografija napravljena ZRGB kamerom u vidljivom i NIR spektru. Osim dokumentiranja fotografija, prikupljaju se i dodatne informacije o flori relevantne za područje koje se istražuje.

Sve slike su pregledane i pripremljene za stvaranje *Baze podataka svojstva apsorpcije uzoraka flore* kao jedan od ciljeva ove disertacije. Iz navedene baze koja se sastoji od informacija o bojama iz prirode, stručnjacima iz ovog područja znanosti u budućnosti će pomoći da jednostavnije dođu do CMYK vrijednosti određenih biljnih uzoraka.

3.3.2. Spektrofotometrijsko mjerenje vrijednosti apsorpcije uzorka

Analiza spektroskopijom važan je faktor promatranja boja jer nam daje informacije o interakciji elektromagnetskog zračenja i materije koju promatramo. U radu se boja manifestira i mjeri kroz apsorpciju svjetla sadržanoj u materiji. Kako je temelj ovog rada proučavanje interakcije svjetlosti i materije u NIR području, spektroskopske analize su proširene i na taj dio elektromagnetskog zračenja. Proširenjem analize obuhvatili smo područje znanosti zvano blisko infracrvena spektroskopija (NIRS).

Na uzorcima flore metodom promatranja su se odredila područja koja će se mjeriti spektrofotometrom s proširenjem u NIR dijelu spektra. Kako bi se izbjeglo krivo instrumentalno očitovanje rezultata, izabrani su vrlo mali segmenti mjerenja. Kao najbolji način definiranja sektora snimanja pokazala se metoda segmentiranja određenog područja na mikroskopskom prikazu uzorka u uređaju Projectina Docucenter 4500 sa softverom PIA 7000. Uređaj mjeri segmente veličine samo nekoliko mikrometara (μm) s velikim optičkim povećanjem površine što daje uvid u strukturu uzorka. Lokaliziranjem detalja iz uzorka u softveru se poprilično precizno moglo odrediti željeno područje snimanja.

Instrumentalne metode poput ove ključne su za određivanje boje jer pružaju točne numeričke vrijednosti te nisu subjektivni doživljaj pojedinca. Željelo se postići najbolje rezultate te se spektroskopija koristila pri svakoj eksperimentalnoj iteraciji. Ovako osmišljenom metodom se mogao pratiti tijek procesa kroz svaku iteraciju i vidjeti ponašanje korištenih programskih rješenja za izvođenje i vizualni prikaz blizanaca bojila i onoga za višestruko praćenje boje flore u dva spektra, čime smo osigurali najistinitije podatke o uzorcima flore.

Proučavanje spektrograma radilo se za svaku iteraciju i bilo je neminovno jer su se rezultati dobiveni programom za višestruko praćenje boje flore u dva spektra ocjenjivali vizualnom metodom te je praćenje dobivenih bilo nužno i važno.

Svaki uzorak snimao se u pet definiranih mjernih područja, čime se osigurala velika mjerna pokrivenost uzorka da bi se što preciznije spektrofotometrijski odredilo odstupanje u nijansama. Navedeni sektori snimanja definirali su se za svaki uzorak posebno zbog različitih oblika, strukture i volumena odabrane flore. Promatranjem velikog broja uzoraka ustanovljeno je da odstupanja u pigmentu postoje i kod uzoraka iz iste porodice flore jer se na prirodne faktore ne može utjecati pa je precizno segmentiranje bilo važno za dobivanje najvjernijih rezultata.

Na uzorcima se mjerila apsorpcijska vrijednost spektrofotometrijskim snimanjem [34, 35] u tri referentne točke. U istraživanjima koja su prethodila doktorskoj disertaciji rađena su snimanja te se testiranjem velikog broja uzoraka došlo do zaključka da su tri referentne točke snimanja istog mjernog područja dovoljne za optimalne rezultate. Referentne točke uzimale su se nasumično unutar definiranog područja i time se dobila prosječna vrijednost snimanog segmenta. Sumiranjem broja uzorkovanja od pet mjernih područja gdje se svaka pozicija mjeri u tri točke, došli smo do ukupnog broja od petnaest mjerenja po svakom uzorku. To je bilo dostatno za dobivanje relevantnih informacija potrebnih za planiranje reprodukcije.

Iz izmjerenih vrijednosti uzoraka kao grafički prikaz mjerenja dobivena je apsorpcijska spektrofotometrijska krivulja. Iz navedene krivulje bilo je moguće očitati vrijednost boja sadržane u pojedinom uzorku te su se prema tome prilagođavali parametri za izradu reprodukcija.

Prilikom određivanja nijansi boja za vidljivi dio spektra primjenjivale su se spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 400 do 700 nm. Za potrebe ovog rada interval promatranja proširio se do 1000 nm kako bi se pokrio NIR dio spektra, no uređaj nije uspio spektralno očitati vrijednosti dalje od 900 nm te su se snimanja nastavila raditi kako je i definirano za pripremu reprodukcije INFRAREDESIGN[®] metodom [32].

3.3.3. Mjerenje uzoraka

Svaki uzorak određen za testiranje u ovom istraživanju prikupljen je iz prirode. Uzeta je u obzir činjenica da se priroda mijenja s obzirom na godišnja doba te su uzorci prikupljeni u proljeće, ljeto, jesen i zimu. Za potrebe disertacije uzorci su se rasporedili prema navedenim vremenskim razdobljima kako bi se obuhvatio cjelogodišnji ciklus biljaka. Kao predstavnik proljeća određen je uzorak latice ruže, ljeto predstavlja list drva breze, za jesen je odabran plod jabuke dok zimu predstavlja kora drveta vrbe.

Ovaj dio eksperimenta služio je kako bismo usporedili digitalno očitane boje iz flore s onom snimljenom kod žive flore. Bitno je bilo spoznati razlike, ukoliko iste postoje, te uvidjeti može li se reprodukcija flore uspješno analizirati i preko fotografija zabilježenih ZRGB kamerom.

U nastavku će biti prikazan tijek eksperimentalnog mjerenja za svaki uzorak posebno. Kako se radi o uzorcima koji nisu umjetno napravljeni te nemaju predefiniranu boju koja pokriva

cijelo promatrano područje (punu boju), snimanje je napravljeno u pet točaka istog uzorka čime će se odabrane boje moći realnije reproducirati.

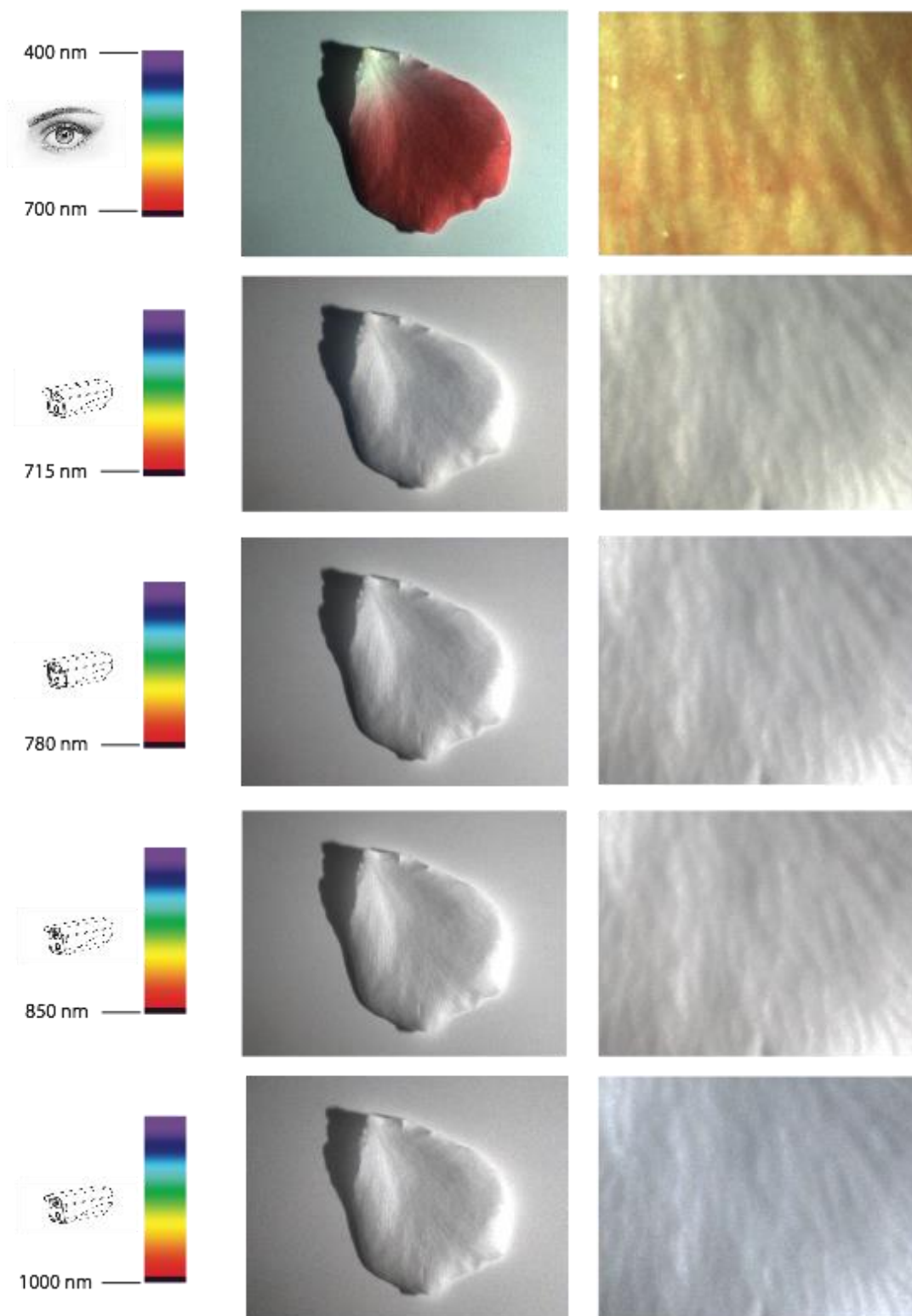
Uzorak ružičaste latice ruže

Ekperiment mjerenja žive flore započinje odabirom uzoraka, uz promatranje i dokumentiranje istih ZRGB kamerom u dva spektra, slika 17. ZRGB kamera bilježi dva stanja, ono u vidljivom spektru te drugo u NIR spektru. Na slici vidimo prvi odabrani uzorak ružičastu laticu ruže u prirodnom okruženju, u navedena dva stanja. Lijevo je u vidljivom području, a desno u NIR području spektra. Uzorak je snimljen u proljeće kada većina biljaka cvate, kao predstavnik tog godišnjeg doba. Možemo primijetiti da se cvijet ruže sastoji od nekoliko segmenata u različitim bojama, no za potrebe eksperimenta prikupljale su se latice.



Slika 17. Uzorak flore; cvijeće slikano ZRGB kamerom u proljeće 2020. u vidljivom i NIR području spektra

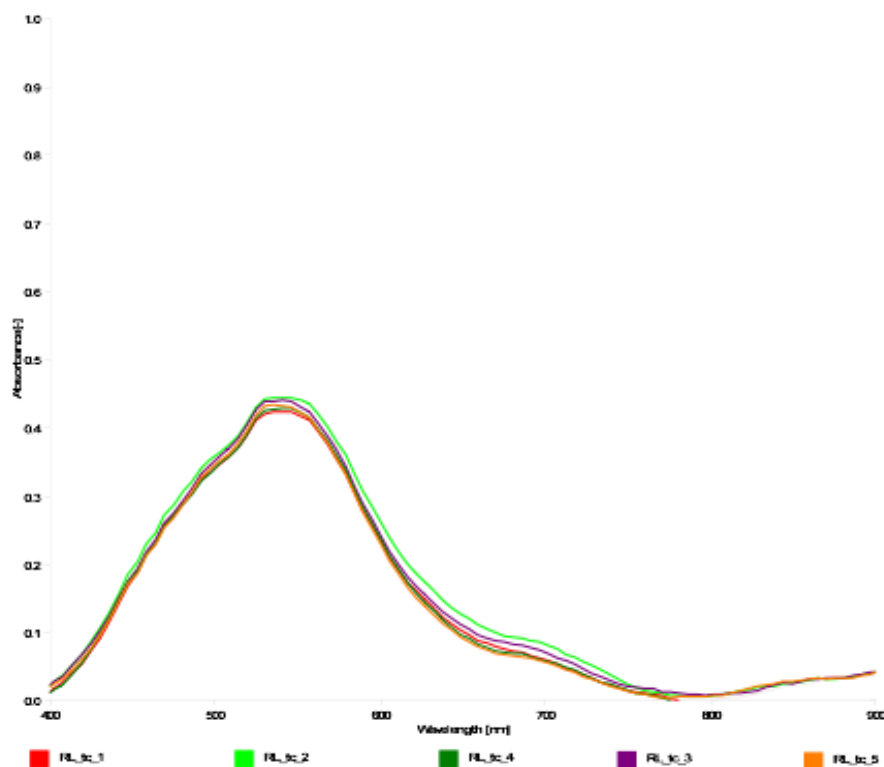
Nakon odabira i dokumentiranje uzoraka, flora se prikuplja te odmah nosi u laboratorij na snimanje. Glavni dio ovog segmenta eksperimenta je snimanje svježih uzoraka u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filtrima na 715, 780, 850 i 1000 nm [36]. Ova faza pruža uvid u izabrani uzorak kroz različita filtriranja te je u nastavku prikazan dijagram toka uzorka kroz spektar od 400 do 1000 nm. Dijagramom možemo lijepo vidjeti prijelaze iz vidljivo u NIR područje spektra gdje se na barijernim područjima od 715, 780, 850 i 1000 nm vidi vrlo mala razlika u nijansama uzorka kroz cijeli NIR dio spektra. Ova snimana područja određena su prema mogućnostima uređaja, ali zadovoljavaju potrebe eksperimenta u cijelosti.



Slika 18. Uzorak flore; ružičasta latica cvijeta ruže slikano u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u proljeće 2020.

Dijagram sa slike 18. osmišljen je kako bi u istom prikazu obuhvatilo oba promatrana spektra kroz barijere u svrhu lakšeg simultanog promatranja uzorka. Počinje od vidljivog dijela spektra, latice u fazi koja je vidljiva golim okom te prati unaprijed odabrane barijerne stanice. Uz prikaze cijelog uzorka, dodan je i mikroskopski prikaz segmenata uzorka, gdje se još preciznije može vidjeti postupni prelazak i promijene na određenim zadanim barijerama.

Sljedeća faza bila je spektroskopsko mjerenje uzorka u pet definiranih područja s tri referentne točke. Vrijednosti svih pet mjerenih točaka bit će prikazane kroz spektrofotometrijske krivulje u nastavku, graf 33.



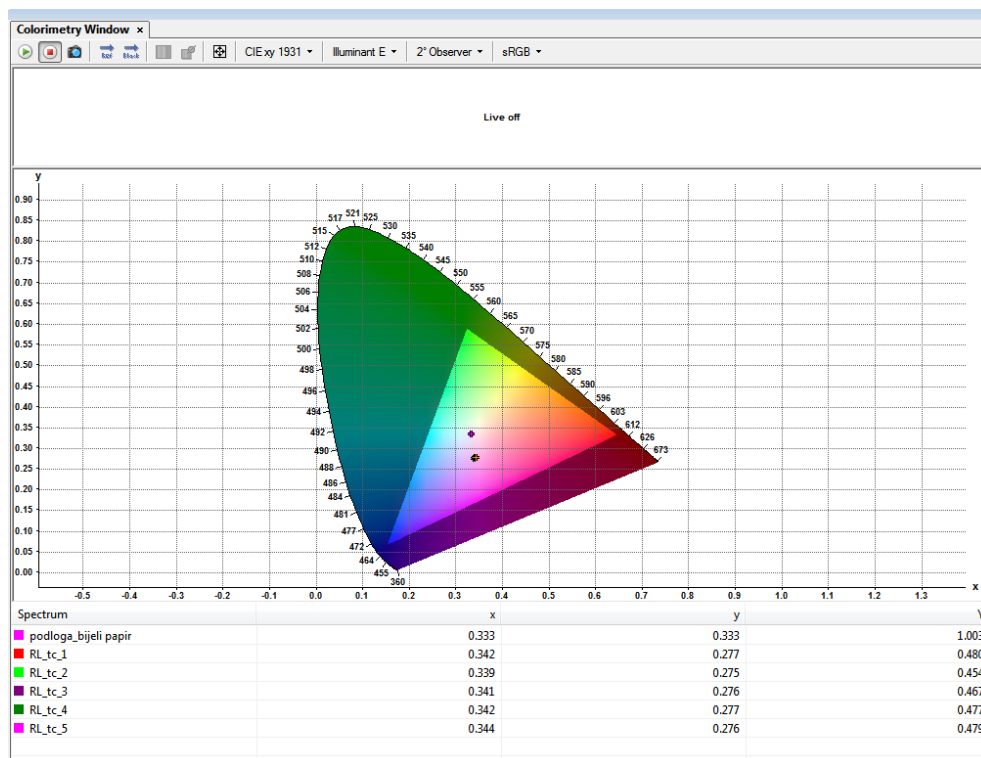
Graf 33. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka ružičaste latice cvijeta ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

Na grafu 33. primjećujemo da uzorak ima najveći pik apsorpcije na otprilike 530 nm što nam govori da je riječ o ružičastoj boji. Apsorpcija je oko 45 % te nakon 530 nm polagano pada vrijednost. Kako znamo koje boje se apsorbiraju u kojem području spektra, možemo zaključiti da su snimljene vrijednosti točne, no kako je uzorak poprilično čistih površina, bez

pigmentacijskih mrlja, grube strukture i ostalih elemenata koji bi mogli dati drugačiju vrijednost, nema puno odstupanja u krivuljama.

Zatim slijedi CIE L*a*b* vrednovanje gdje se iz izmjerenih vrijednosti izvlače numerički podaci o apsorpciji uzoraka prikazanih u tablici.

Tablica 8. Izmjerene CIE L*a*b* vrijednosti uzorka latice ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja



Iz grafičkog prikaza u tablici 8. vidimo da su sve boje u istoj točki, osim bijele podloge koja služi za kalibraciju te se iz ovih mjerenja vidi da je snimana ružičasta boja. U ovoj fazi sva snimanja spektrofotometrom su napravljena kao garancija provjere stanja organskog uzorka čije ponašanje nam je do nedavno bilo nepoznato te su sve vrijednosti u ovoj fazi samo pokazatelj da su napravljena mjerenja i informacije o boji iz prirode točni. Eksperimentalne mjerne vrijednosti nastale spektrofotometrom koristit će se kao provjera kretanja eksperimenta kroz svaku iteraciju i za računanje kolorimetrijske razlike u boji iz iteraciju u iteraciju.

Uzorak zeleni list drveta breze

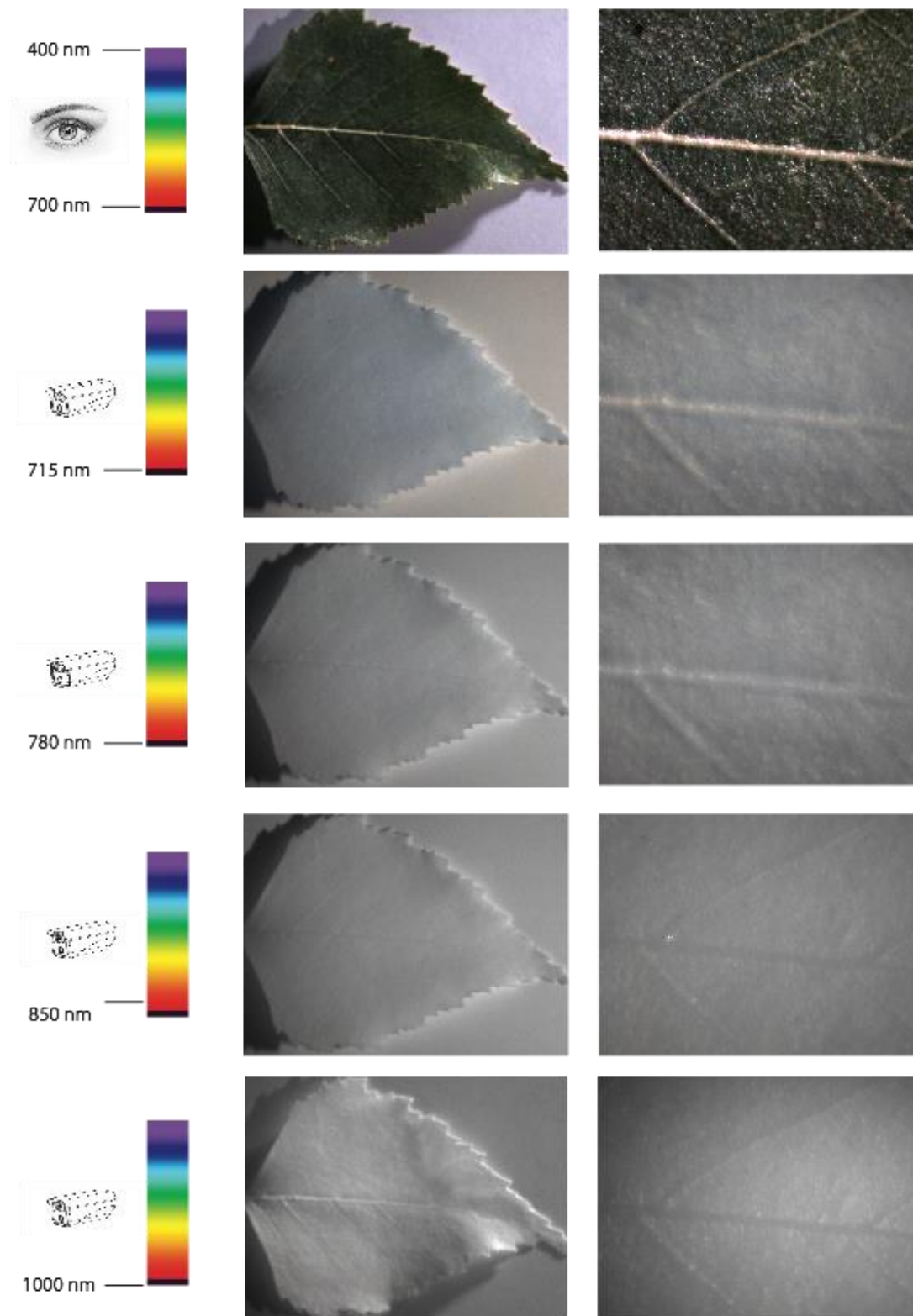
Drugi uzorak je odabran i slikan u ljeto. Na slici vidimo lišće breze koje je poslužilo kao predložak za uzorak zelene boje. Na slici vidimo lišće u prirodnom okruženju i pod prirodnim izvorom svjetla. Svi ostali prikazi flore bit će iz kontroliranih uvjeta u laboratoriju, čime se osiguravaju isti parametri snimanja za svaki od četiri odabrana uzorka. Kod uzorka lista ne postoji problematika prostornog ograničenja uređaja te se on lijepo može pripremiti za snimanje.



Slika 19. *Uzorak flore; zeleno lišće drveta breze slikano ZRGB kamerom u ljeto 2020. u vidljivom i NIR područje spektra*

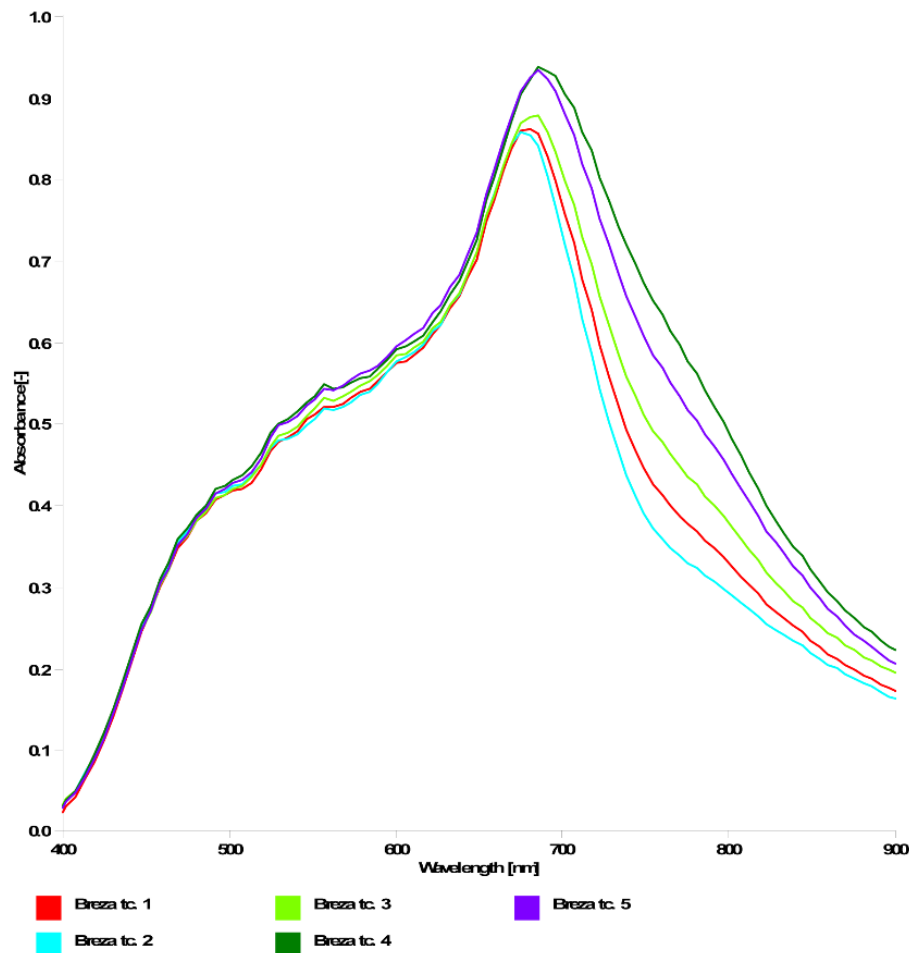
Na slici 19. primjećujemo u krupnom kadru lišće i njegovu okolinu. Možemo primijetiti da je sva flora bijela, kao što smo i naveli ranije u radu te se i na ovoj slici potvrđuje da kora apsorbira svo zračenje pa je crna. Dugogodišnjim istraživanjem uvidjelo se da je sva flora i dio faune potpuno bijela [18, 37], što dodatno potvrđujemo priloženim fotografijama.

Kao i kod prvog uzorka i za drugi uzorak napravljen je dijagram za lakše praćenje promjena kroz spektar pa na slici 20. vidimo postepeno gubljenje boje s prelaskom iz vidljivog u NIR dio. Uzorak korišten za kreiranje dijagrama ide u daljnju obradu i promatranje prema unaprijed definiranoj, ranije objašnjennoj proceduri.



Slika 20. Uzorak flore; zeleno lišće drveta breze slikano u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u ljeto 2020.

Spektroskopsko mjerenje uzorka u pet definiranih područja s tri referentne točke za uzorak zelenog lista breze:



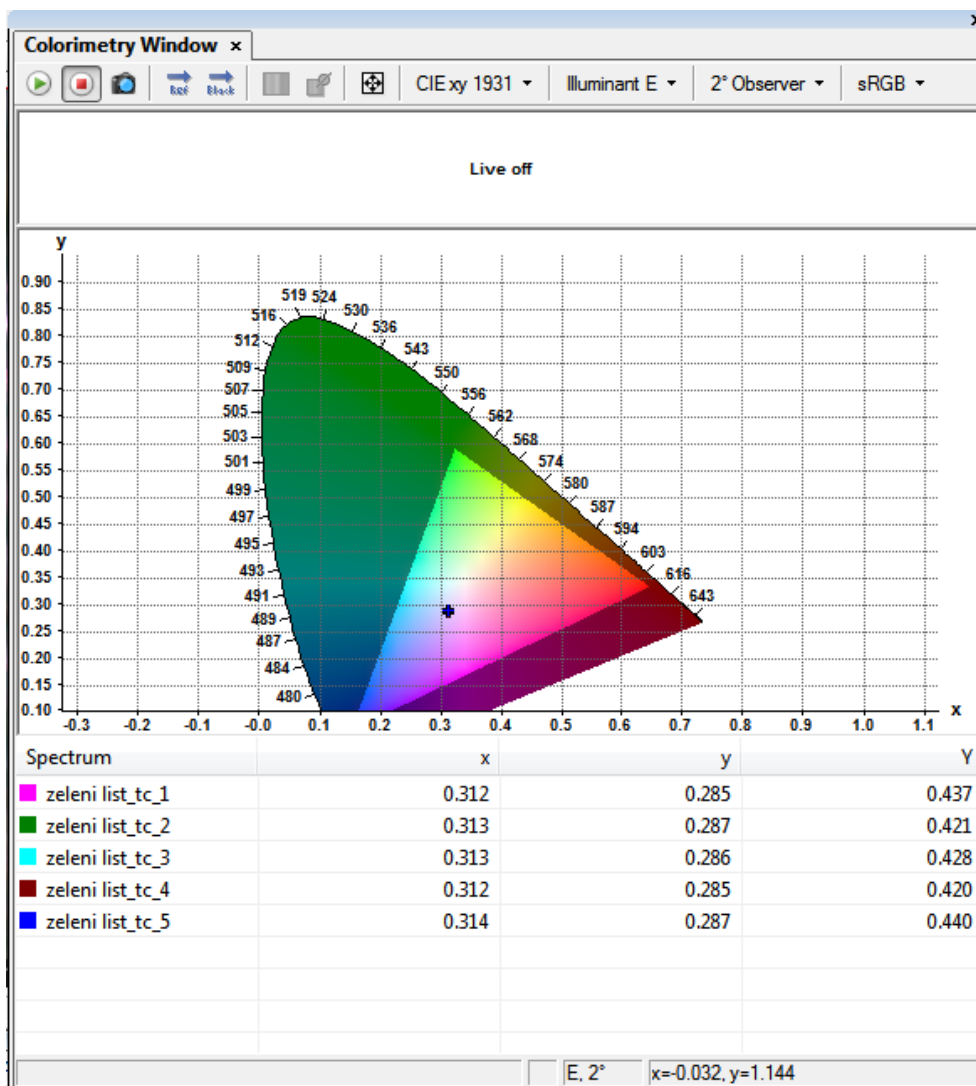
Graf 34. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista drveta breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

Na grafu 34. primjećujemo da su spektrofotometrijske krivulje jednake duž cijelog vidljivog NIR spektra. Uzorak ima odaziv u području od 450 do 720 nm te zbog poznavanja ponašanja zelene boje prilikom apsorpcije znamo da su informacije o boji točne. Osim toga vidimo da se krivulje u navedenom intervalu razilaze, što je i očekivano s obzirom da se radi o uzorku flore koji je uvijek nejednolično prekriven prirodnim pigmentom. Čak možemo zaključiti da se radi o poprilično malom odstupanju s obzirom da je i svaki uzorak koji je sniman u preliminarnim testiranjima bio različit, kao i svih pet zadanih točaka na uzorku, što je i dovelo do ideje da se

napravi baza boja koje će predstavljati mali dio boja iz prirode pripremljenih za INFRAREDESIGN® reprodukciju fore u dva spektralna područja.

Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti apsorpcije uzorka na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000:

Tablica 9. Mjerene CIE L*a*b* vrijednosti uzorka zelenog lista drveta breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja



CIE L*a*b* vrijednosti potvrđuju upravo ono što se moglo iščitati i iz spektrofotometrijskih krivulja; izabrane točke na uzorku imaju gotovo jednake odazive u svim segmentima uzorka, što je generalno atipično za biljni svijet, ali i za prirodu općenito.

Uzorak crveni plod voćke jabuke

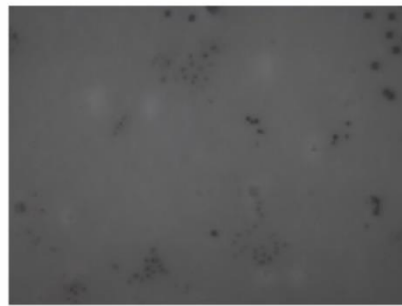
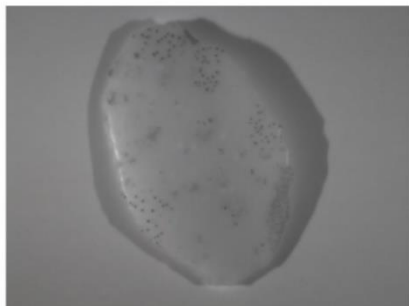
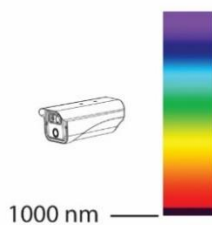
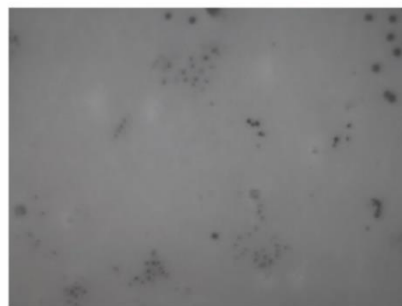
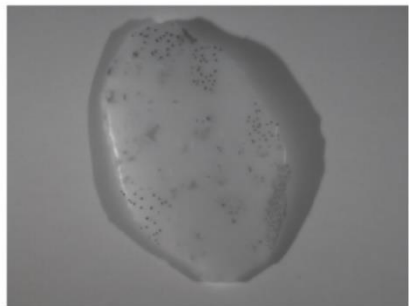
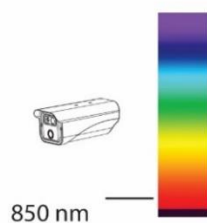
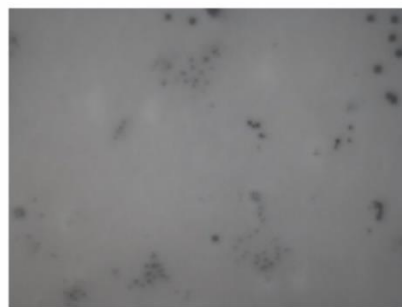
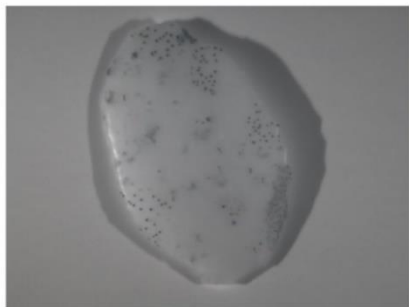
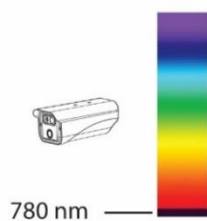
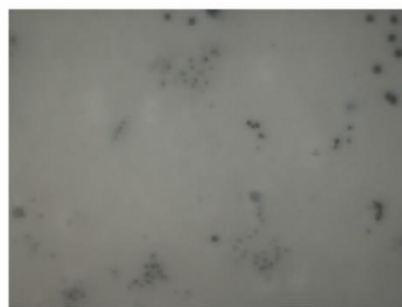
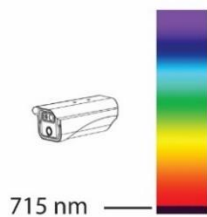
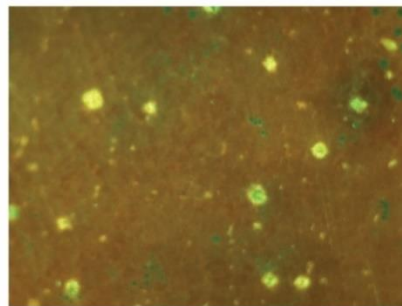
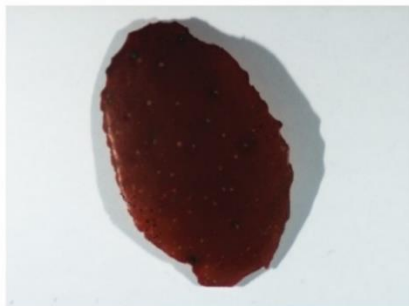
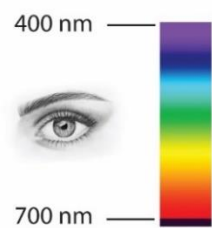
Treći izabrani uzorak je plod jabuke, slikano u jesen. Plod jabuke poslužio je kao predložak za uzorak crvene boje. U slučaju ovakvog uzorka, koji je nešto većih dimenzija moramo imati malo drugačiji pristup prilikom snimanja uzorka, s obzirom na ograničenja uređaja za digitalnu spektralnu forenziku (2.5.). Uzorku smo uzeli samo jedan segment, dovoljan za izvođenje kvalitetnih i točnih mjerenja.



Slika 21. Uzorak flore; crveni plod jabuke slikan ZRGB kamerom u jesen 2020. u vidljivom i NIR područje spektra

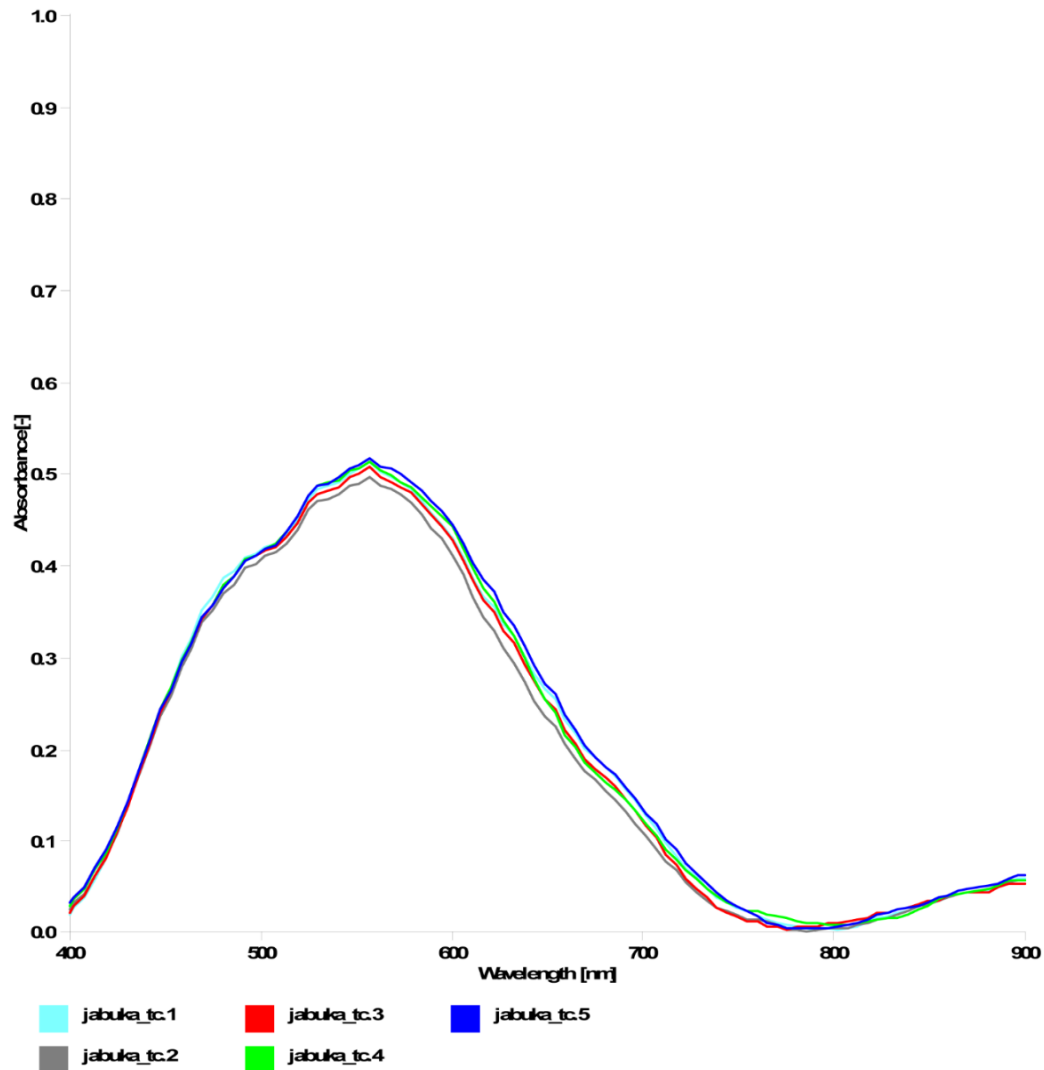
Zanimljivost ovog uzorka je u prirodnoj pigmentaciji izabranog ploda. Prikazani uzorak baš je zbog toga uzet u obzir, kako bi se pokazale prirodne nesavršenosti i zašto je važno precizno odrediti područja mjerenja, (2.).

Najbolji prikaz prirodne pigmentacije vidi se u dijagramu uzorka gledanog kroz barijerne filtere. Možemo primijetiti da pozicije, odnosno, točke pigmentacije vidljive u području vidljivog spektra se razlikuju od pigmentiranih područja koja se očitavaju u NIR dijelu spektra. To se vrlo dobro vidi na slici 22. kod uzorka koji su mikroskopski uvećani te se lakše razaznaju sitne točkice i njihove pozicije.



Slika 22. Uzorak flore; segment crvenog ploda jabuke slikan u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u jesen 2020.

Spektroskopsko mjerenje uzorka u pet definiranih područja s tri referentne točke za uzorak crvenog ploda jabuke:

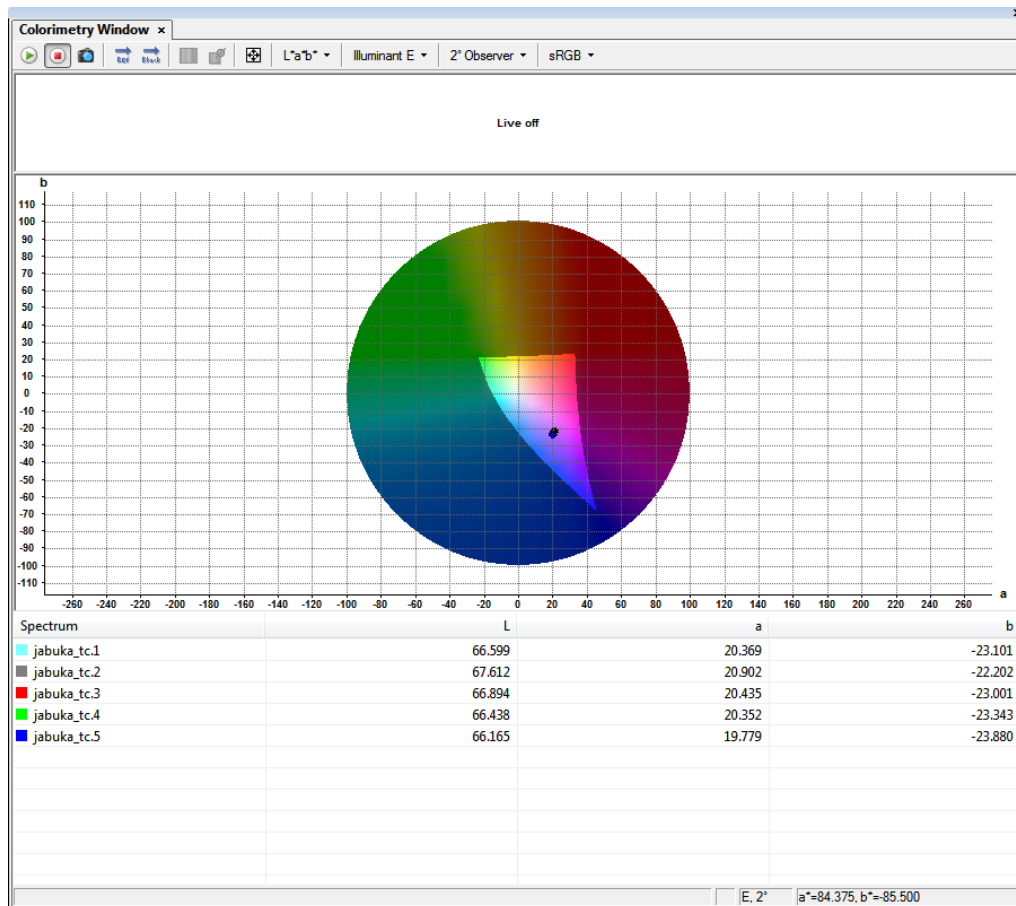


Graf 35. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crvenog ploda jabuke u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

Isto kao i kod uzorka zelenog lista, imamo primjer da su na uzorku pogođene točke s istim spektralnim vrijednostima, odnosno, istog spektralnog odaziva. To zaključujemo iz spektrofotometrijskih krivulja koje su gotovo jednake duž oba spektra, eventualna mala razlika se očituje u apsorpciji od 550 nm do 750 nm, na drugim predjelima imamo odlično preklapanje krivulja. Iako preklapanje krivulja nije cilj u ovoj fazi eksperimenta jer ne radimo izjednačavanje vrijednosti boja, važno je zbog praćenja informacija iz prirode koju želimo prenijeti i reproducirati da su sličnih vrijednosti kroz svih pet točaka.

Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti apsorpcije uzorka na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000:

Tablica 10. Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka crvenog ploda jabuke u Projectini Docucenter 4500 u pet područja



Prema krivuljama mogli smo pretpostaviti da će i CIE L*a*b* rezultati biti sličnih vrijednosti u svih 5 točaka. Kao i kod prethodnih uzoraka vidljiva je konstantnost što potvrđuje da je snimanje dobro odrađeno te su se uspješno izbjegla sva područja koja su prekrivena tamnijom nijansom pigmenta na uzorku.

Uzorak smeđa kora drveta vrbe

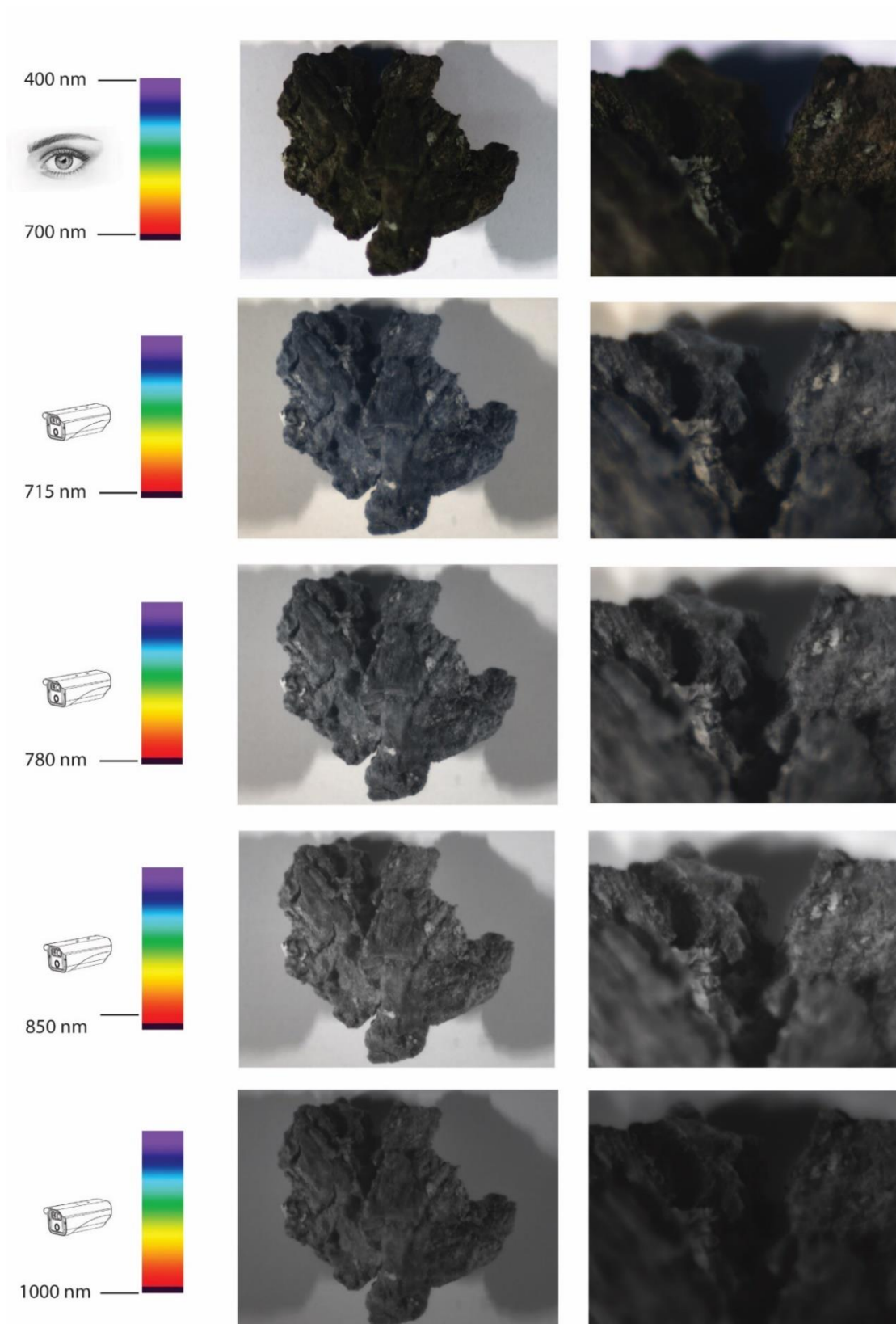
Zadnji izabrani uzorak je smeđa kora drveta vrbe. Uzorak je prikupljen i snimljen u zimu kao predstavnik tog godišnjeg doba. Na slici možemo vidjeti koru drveta u prirodnom staništu te njen odaziv u vidljivom i NIR području uz prisustvo jake sunčeve svjetlosti, koja je najbolji izvor svjetlosti za promatranje flore. Uzorak je prikupljen s prikazanog debla te je odmah odnesen u laboratorij na promatranje.



Slika 23. Uzorak flore; smeđa kora drveta vrbe slikano ZRGB kamerom u zimu 2020. u vidljivom i NIR području spektra

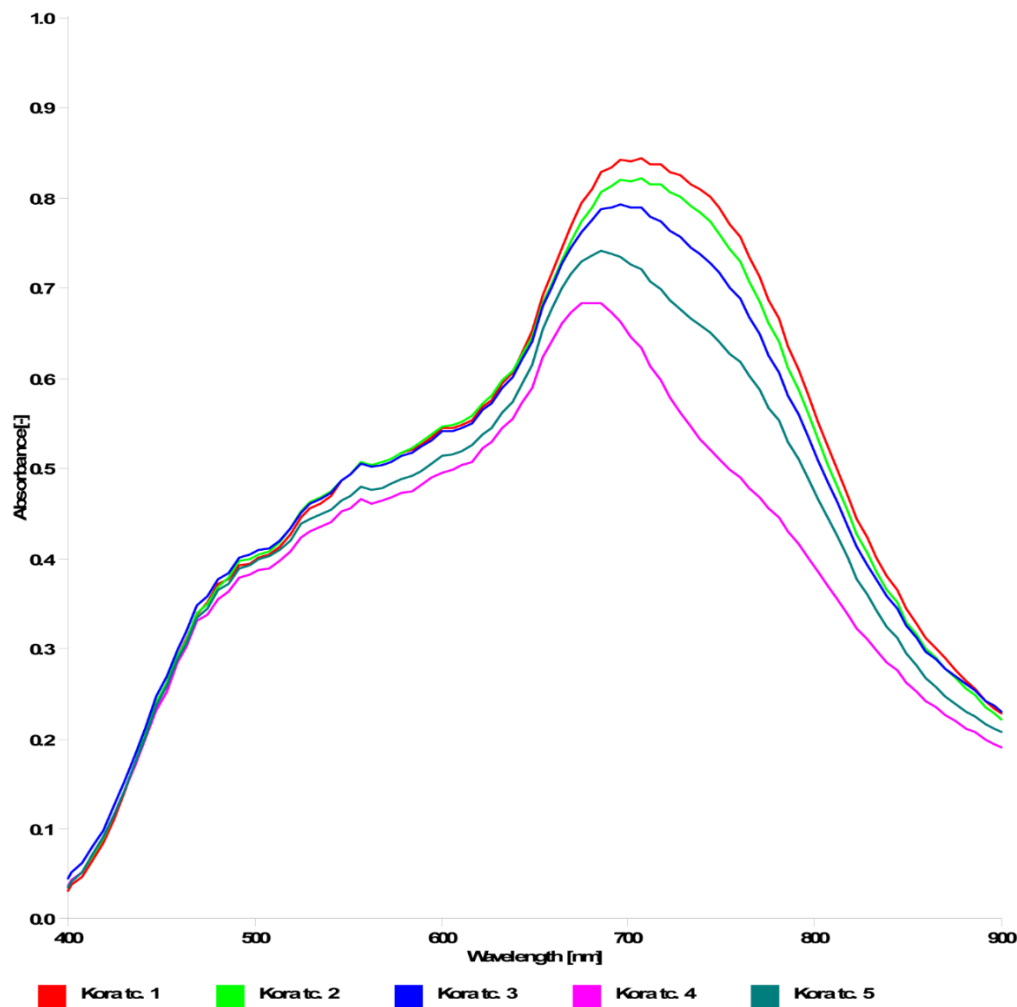
Kora u odnosu na ostale uzorke prikupljene iz prirode za potrebe ove doktorske disertacije, najkompleksnija je za snimanje u uređaju zbog hrapave površinske strukture. Takva površina zbog neravnina stvara male sjene unutar samog uzorka te se posebna pažnja pridavala snimanju navedenog uzorka.

U nastavku je prikazan dijagram s mikroskopskim prikazom uzorka gdje je vidljiva struktura kore vrbe i sjene koje se stvaraju prilikom snimanja. Zbog neravnina bilo je zahtjevno snimiti i mikroskopsku snimku površine jer je u svakom segmentu dolazilo od zamućenja pojedinog djela uzorka.



Slika 24. Uzorak flore; smeđa kora drveta vrbe slikano u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u zimu 2020.

Spektroskopsko mjerenje uzorka u pet definiranih područja s tri referentne točke za uzorak smeđe kore drveta vrbe:



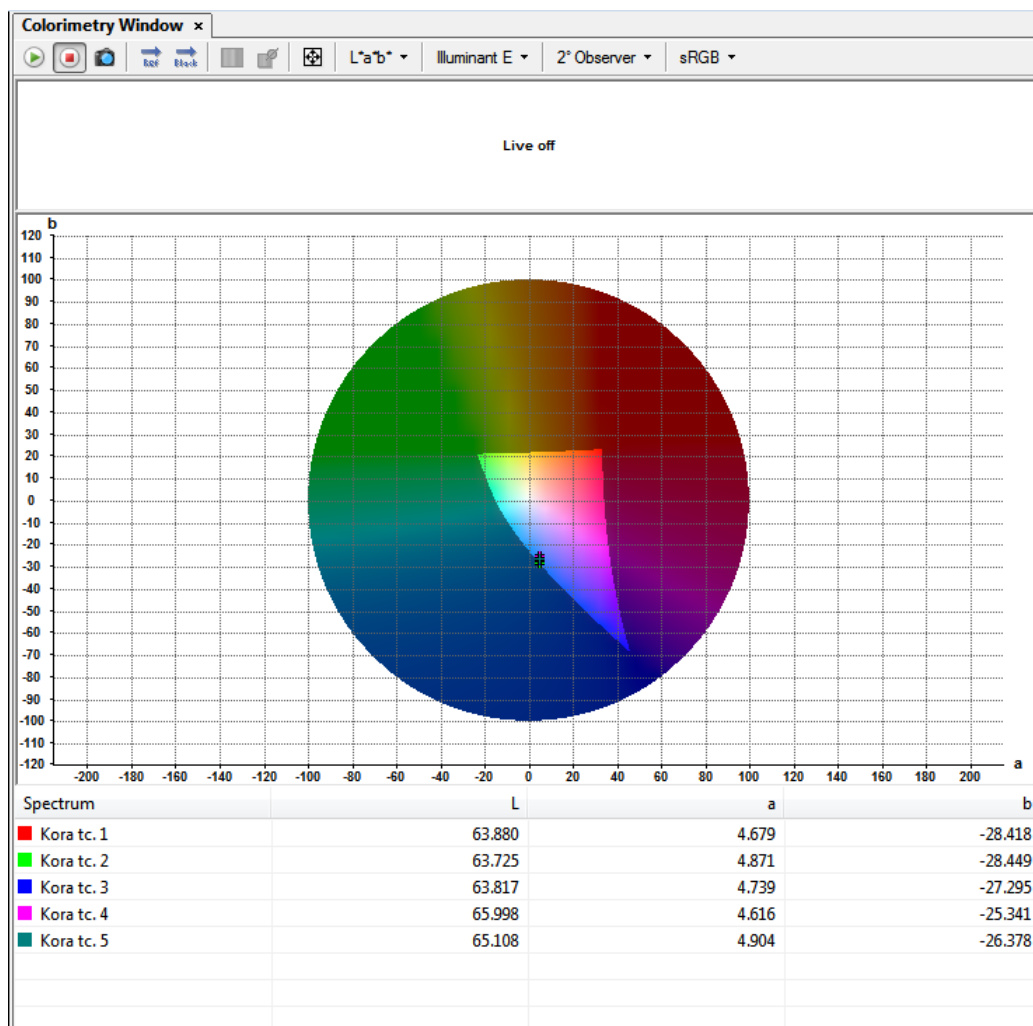
Graf 36. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka smeđe kore drveta vrbe u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

Ovaj graf je vrlo zanimljiv, jer prikazuje veće odstupanje krivulja. Takvo ponašanje krivulja uzrokuje uzorak smeđe kore drveta koji u svojoj prirodnoj formi ima različite nijanse smeđe, od svjetlije do tamnije. Iako je snimani uzorak vrlo malih dimenzija, 1 x 1,5 cm posjeduje svu raznolikost prirodnog pigmenta kore koji prožima cijelo stablo. Iz spektrograma je vidljivo da do razdvajanja dolazi nakon 500 nm te se najveće razdvajanje očituje u intervalu od 700 do 800 nm koje je granično područje između vidljivog i NIR spektra. Možemo također primijetiti da je, s obzirom na ostala tri uzorka, kod kore puno veća apsorpcijska moć jer se radi o vrlo tamnom uzorku. Najvažniji segment ovog uzorka i različitost od ostala tri prikazana uzorka je

što jedino kora ima odaziv u NIR dijelu spektra, što se vidi na dijagramu gdje je kora ostala iste boje, tamnosive kroz vidljivi i NIR dio spektra.

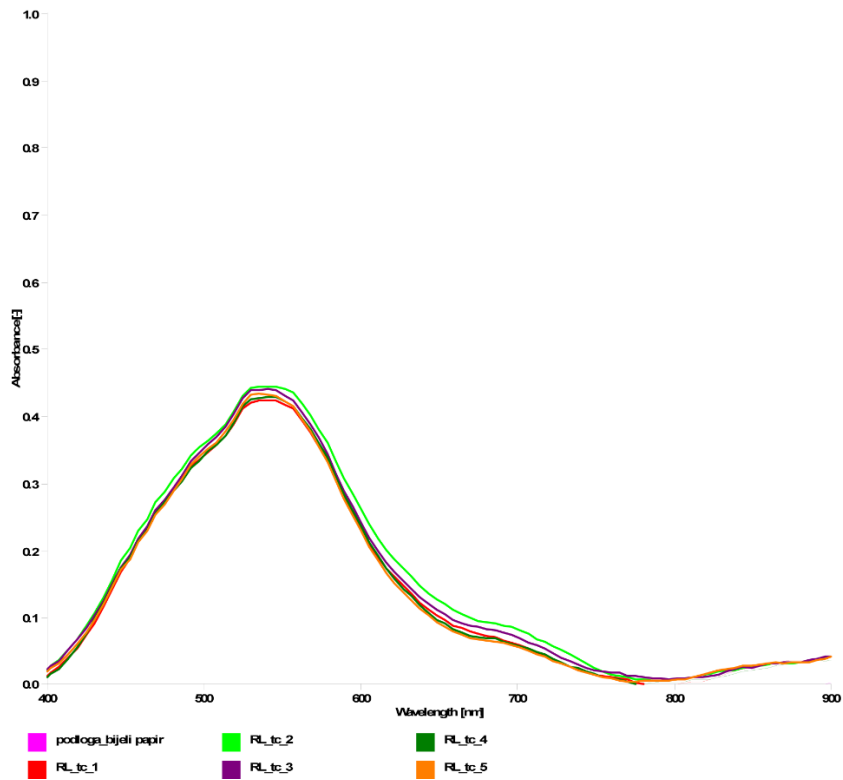
Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti apsorpcije uzorka na uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000:

Tablica 11. Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka smeđe kore drveta vrbe u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

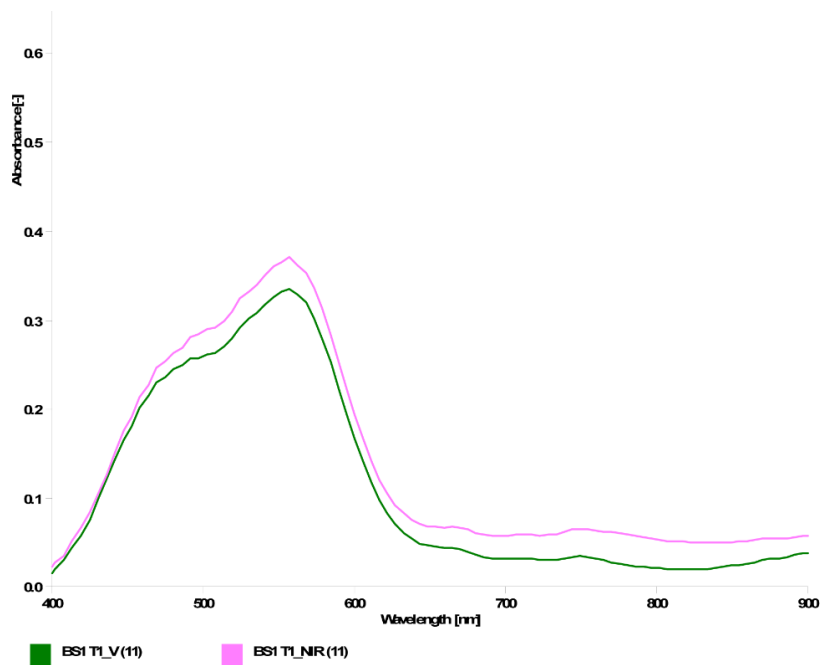


Cilj ovog dijela eksperimenta bilo je dokazati da digitalno uzimanje boje iz prirode, kako je rađeno u eksperimentu AB1 blizanci OKI, nema odstupanja u vrijednostima boje od snimanja žive prirode te da su vrijednosti o bojama istinite na oba načina.

Prikaz spektrograma uzorka ružičaste latice ruže i ružičaste boje BS1 T1 iz baze boje uzete iz prirode digitalnim putem:

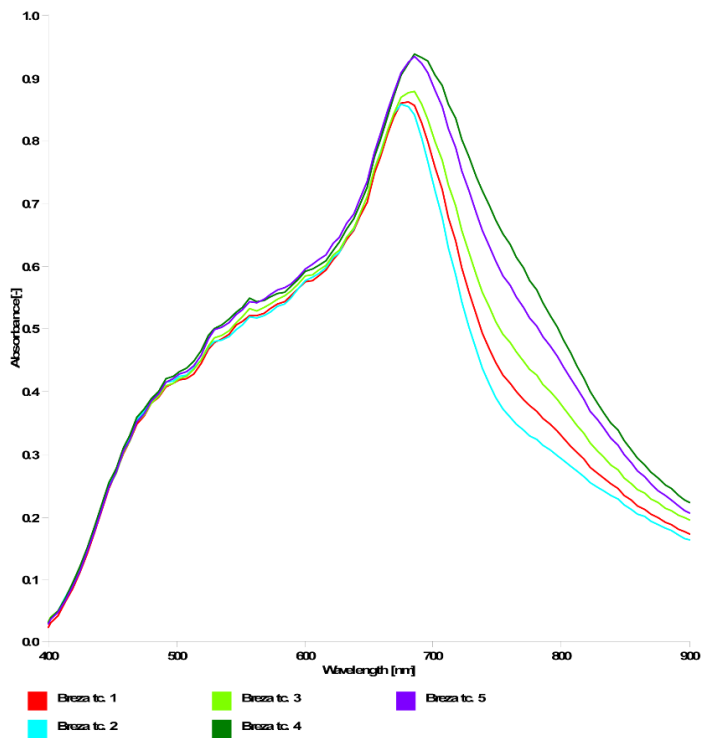


Graf 37. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka ružičaste latice ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja

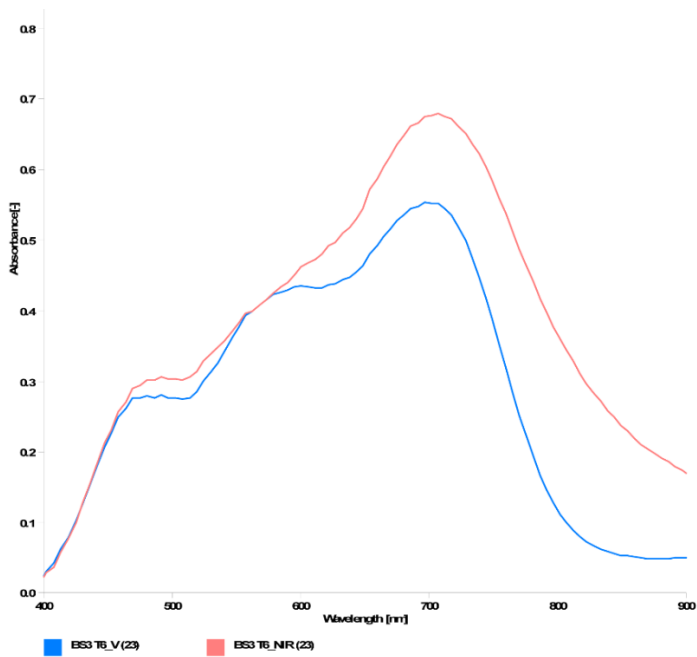


Graf 38. Spektrofotometrijsko mjerenje ružičastog uzorka BS1 T1 u Projectini Docucenter u vidljivom i NIR području

Prikaz spektrograma uzorka zelenog lista breze i zelene boje BS3 T6, iz baze boje uzete iz prirode digitalnim putem:



Graf 39. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja



Graf 40. Spektrofotometrijsko mjerenje zelenog uzorka BS3 T6 u Projectini Docucenter u vidljivom i NIR području

Napravljena je usporedba dvije boje, ružičaste i zelene na četiri uzorka. Dva uzorka su bila ružičasta i dva zelena. A usporedba se radila između uzorka boje uzete iz žive flore i uzorka boje uzete digitalno iz prirode snimljene ZRGB kamerom.

U oba prikazana slučaja vidljivo je vrlo blisko ponašanje krivulja s dva usporedna grafa. Kod uzoraka ružičaste boje, vidimo da je na oba grafa pik na otprilike 550 nm te da krivulje općenito imaju vrlo sličan tijek duž cijelog vidljivog i NIR spektra, s manjim zanemarivim razlikama. Kod uzorka zelene boje, također možemo primijetiti da je pik na oba grafa u istom spektralnom području na otprilike 700 nm te da se krivulje kroz cijeli vidljivi i NIR spektar ponašaju vrlo slično.

Promatranjem ponašanja oba grafa za istu boju možemo zaključiti da je za uzorke uzete iz žive ubrane flore i one uzete digitalnom putem, informacija o boji istinita i točna. Zbog te spoznaje zaključujemo i da će se regresijska analiza i priprema blizanaca za reprodukciju s vrijednostima iz flore raditi na bojama očitanim digitalnim putem.

3.4. Spajanje dviju slika flore iz vidljivog i blisko infracrvenog područja spektra

Testiranje je započelo slikanjem flore u prirodnom okruženju u dva spektra. Dokumentiranje flore izvedeno je ZRGB kamerom [5] te je njome zabilježeno 500-tinjak fotografija stanja flore u dva spektra. Proučavanjem fotografija izabrano je 90 boja iz prirode na kojima se izvodilo testiranje i prilagođavanje parametara za kvalitetnu reprodukciju odabrane flore prikazane i izmjerene u ovom poglavlju.

Nakon odabira fotografija koje zadovoljavaju početne (vizualne) parametre za pristupanje ručnom namještanju fotografija za izvođenje slika s dualnim karakterom, pristupa se softverskom alatu Adobe Photoshop. Pomoću navedenog alata definiramo ostale parametre potrebne za prilagođavanje slike.

Objema fotografijama, iz vidljivog i NIR spektra, treba prilagoditi određene parametre definirane po INFRAREDESIGN® teoriji, kako bi izvođenje dualiteta prilikom spajanja slika iz dva spektra bilo uspješno [38]. Sliku vidljivog spektra potrebno je prvenstveno iz RGB moda prebaciti u CMYK kolor sistem te je važno definirati CMYK s praznim K kanalom [39]. Sliku pripremanu za NIR dio spektra moramo definirati u grayscale modu jer se slika sastoji samo od sivih tonova. Procedura ručnog spajanja slika iz dva područja spektra počinje implementacijom grayscale slike NIR područja u K kanal CMYK slike vidljivog područja [26, 40, 41, 42].

Nadolazeća procedura je vrlo zahtjevna jer iziskuje preciznost i iskustvo da bi rezultat bio zadovoljavajući. Kad jednom imamo ugrađenu NIR informaciju u slici, radimo na prilagođavanju svih segmenata vidljive slike s istim pozicijama u NIR slici. Svaki element slike u vidljivom području mora se poklopiti s istim elementom u NIR slici te se time postiže dualitet. Prilikom izvršavanja ove procedure mora se uzeti u obzir ljudski faktor kao i faktor prirode koja se giba te je ovakve fotografije mnogo teže pripremiti od statičnih fotografija predmeta ili nepomičnih objekata.

Na slikama u nastavku radnje prikazani su rezultati ručnog spajanja fotografija. Ako promotrimo prikazane primjere, možemo primijetiti odstupanja na slici 25., u dijelu gdje se nalazi drveće. Tu imamo puno sitnih elemenata koje je gotovo nemoguće uskladiti ručnom metodom pa se iznad tog dijela na slici vidi bjelkasti obris NIR slike koja izbija iz pozadine. Kod drugog primjera, na slici 26. primjećujemo nešto bolje preklapanje fotografija vidljivog i

NIR dijela spektra. Objekt sa slike 26. je statičan bez sitnih detalja pa ga je i lakše prilagoditi. Za potrebe rada prikazana su dva načina preklapanja fotografija iz oba spektra te su u nastavku definirana kroz proceduru:



Slika 25. Ručno izvođenje slika s dualnim karakterom, primjer 1



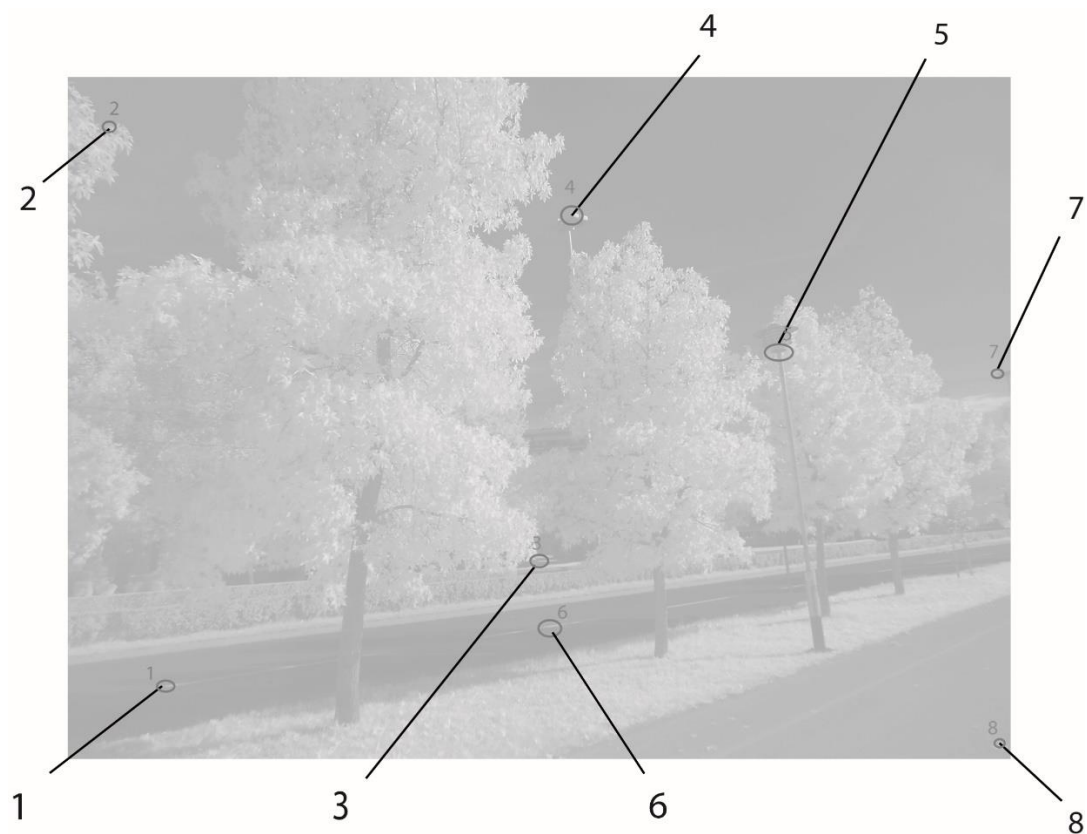
Slika 26. Ručno izvođenje slika s dualnim karakterom, primjer 2

3.4.1. Postupak pripreme fotografija vidljivog i NIR područja za izvođenje dualne slike pomoću programa za deformaciju slika

Cjelokupna priprema fotografija zahtjevala je korištenje softverskog rješenja Adobe Photoshop gdje se svaka fotografija podešavala prema točno zadanim parametrima. Parametri su posebno definirani za vidljivo i NIR područje spektra. Kod pripreme slike za vidljivo područje važno je definirati CMYK kolor sustav s praznim K kanalom, dimenzije fotografije kako fotografija ne bi bila prevelika jer će prilikom renderiranja fotografije proces trajati predugo. Veličina fotografije vrlo je bitan segment, odnosno važnost da su slika u vidljivom području i NIR području u potpunosti iste veličine. Završna priprema slike sastojala se od spremanja fotografije u tiff formatu gdje je uz smanjenje veličine važno definirati LWZ kompresiju, čime ćemo postići kompresiju bez gubitka podataka [43].

Za pripremu NIR fotografije postoji više segmenata na koje je potrebno paziti. Važno je da zacrtnjenost nije veća od 40 %. Ovaj parametar definiran je dugogodišnjim radom tima znanstvenika koji su dokazali da je za pripremu dualnih fotografija dovoljna zacrtnjenost K kanala maksimalno 40 % jer fotoaparati i kamere koje „vide“ u tom području, 40 % vide kao 100 %. Korekcija zacrtnjenosti izvodi se kroz dva alata *Levels* i *Curves*. Prvo u *Levels* korigiramo *Output levels* opciju. Koliko će se ista spuštati ovisi o fotografiji koju obrađujemo. Zatim se pristupa *Curves* alatu gdje se radi korekcija nad krivuljom zacrtnjenosti. Svi tamni tonovi spuštaju se do razine od 40 %. Ovim korekcijama se gubi na zasićenosti, ali za izvođenje ovakve vrste slika to i nije prioritet. NIR fotografiji također se mora prilagoditi dimenzija te mora biti spremljena u tiff formatu na isti način kao i slika u vidljivom području [29, 44, 45].

Zatim se pristupa usporedbi vidljive i NIR slike kako bi pozicije piksela bile na istim mjestima prilikom spajanja fotografija u jednu. Za ovu fazu eksperimenta važno je definirati osam kontrolnih točaka nazvanih reperi, na obje fotografije. Definiranje repera služi programu za deformaciju i korekciju slike da preciznije prilagodi preklapanje piksela vidljivog i NIR dijela spektra. Program koristi osam definiranih točaka prikazanih na slici 27. i preko programskog rješenja prilagođava pozicije preklapanja na grayscale slici.



Slika 27. Slika Javor; Prikaz usporedbe fotografija, te definiranje repera na NIR slici

Definirani reperi za sliku Javor:

	V	IR
1)	225 x 1270	199 x 1259
2)	97 x 123	79 x 99
3)	997 x 1013	971 x 1001
4)	1060 x 285	1030 x 279
5)	1473 x 571	1466 x 569
6)	1013 x 1145	991 x 1135
7)	1918 x 623	1916 x 612
8)	1892 x 1374	1920 x 1376

Finalna dimenzija slike iznosi 1942 x 1371.

Zatim se pristupa dijelu eksperimenta koji se izvodi programskim rješenjem za deformaciju slika prema zadanim reperima. Ovaj dio eksperimenta izvodi se zbog nesavršenosti čovjekove ruke koja prilikom slikanja dvije slike istovremeno teško može uzeti istu poziciju za vidljivu i NIR informaciju. Uz to postoji i problematika vremenskog pomaka jer ukoliko je jedna slika slikana i sekundu prije druge slike, može doći do velike promjene u kadru. Npr. ukoliko puše vjetar u drugoj sekundi ćemo već imati drugačiju situaciju ili ako u kadru imamo živo biće u pokretu teško da ćemo pogoditi istu poziciju takvog objekta na obje slike [29].

Stoga moramo napraviti malu deformaciju slike pripremljene za NIR područje spektra kako bi se određeni elementi sa slike dobro poklopili. Radi se o deformaciji slike od nekoliko piksela koji se pomiču prema zadanim pozicijama repera. Uvijek se slika za NIR područje prilagođava onoj za vidljivo područje.

Prilikom programskog prilagođavanja pozicija piksela, slika koja podliježe takvoj deformaciji ne mijenja se vizualno već se utječe na određene piksele koji se postavljaju na novu poziciju. Deformacije se izvode pomoću programa u Phyton programskom jeziku definiranom za potrebe INFRAREDEIGN[®] tehnologije te je korišten kao alat u međufazi eksperimenta.

Nakon uspješno izvedene deformacije i prilagođavanja fotografije pristupa se spajanju fotografija matematičkim algoritmom za spajanje dviju slika različitog spektra, uz prethodno definiranje parametara za realnu reprodukciju flore.

3.4.2. Razvijanje algoritma za spajanje dviju slika različitog spektra s pridruženim setom blizanaca

Za kvalitetnu grafičku reprodukciju moraju se točno odrediti parametri tiska. Svi digitalni tiskarski uređaji imaju vlastiti prostor boja definiran kao ograničenje uređaja. Zbog tog ograničenja oni ne mogu reproducirati jednaku nijansu boje te se svaki uređaj mora prilagođavati određenim načelima kako bi se dobio željeni rezultat. Provodila su se testiranja i prilagođavanja tiskarskih i kolor parametara za elektrofotografske četverbojne digitalne tiskarske uređaje.

Vrijednosti otisaka uzoraka odredili su se prema parametrima zadanim programskim rješenjem za pojedinu iteraciju. Za svaku novu eksperimentalnu iteraciju izrađivali su se

blizanci bojila određenog tona. Ton blizanca bojila bio je određen prema originalu, tj. vrijednosti dobivenoj mjerenjem uzorka flore.

Regressijska tablica za K=36

Boja dobivena od procesnih bojila CMY gdje je izuzeta K komponenta koja predstavlja karbon crnu boju, za potrebe ovog istraživanja označena je s X_0 boja te ona nema NIR odaziv na 1000nm.

$$X_0 = \begin{pmatrix} Y_0 \\ M_0 \\ C_0 \end{pmatrix}$$

Za izvođenje matematičke interpolacije pristupa se stvaranju blizanca iste nijanse boje kao X_0 , koji će sadržavati 36 % crne. Drugi, pripadajući par blizanca, bit će označen sa X_{36} .

$$X_{36} = \begin{pmatrix} Y_{36} \\ M_{36} \\ C_{36} \end{pmatrix}$$

Za X_0 i X_{36} radi se regresiona analiza koja definira međuzavisnost navedenih eksperimentalnih vrijednosti te iz toga proizlazi [46]:

$$X_{36} = A * X_0 - B ;$$

To znači da će se za iste pozicije, odnosno iste piksele na slici za vidljivo područje i onoj za NIR područje, izvršiti prikazana matematička interpolacija gdje je:

$$A = \begin{pmatrix} -0.0200 & -0.0571 & 1.5244 \\ 0.0255 & 1.2378 & -0.2857 \\ 1.1264 & -0.2595 & 0.3985 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 61.8 \\ 21.1 \\ 51.8 \end{pmatrix}$$

Konvencionalno pisanje relacija:

$$C_{36} = 1.5244 * C_0 - 0.0571 * M_0 - 0.020 * Y_0 - 61.8$$

$$M_{36} = -0.2857 * C_0 + 1.2378 * M_0 + 0.0255 * Y_0 - 21.1$$

$$Y_{36} = 0.3985 * C_0 - 0.2595 * M_0 + 1.1264 * Y_0 - 51.8$$

Tablica K=0

C₀	M₀	Y₀
73	100	100
83	90	46
69	35	82
48	88	100
80	56	100
58	39	49
76	80	53
43	52	55
58	73	74
77	41	100
59	85	98
75	87	84
74	64	63
69	86	89
47	91	60
91	72	100
82	44	82

Izmjereno 36 i izračunata var

C₃₆	C3 var	M₃₆	M3 var	Y₃₆	Y3var
41	41.7712	85	84.39304	64	64.02781
57	58.6369	67	67.78018	7	9.783486

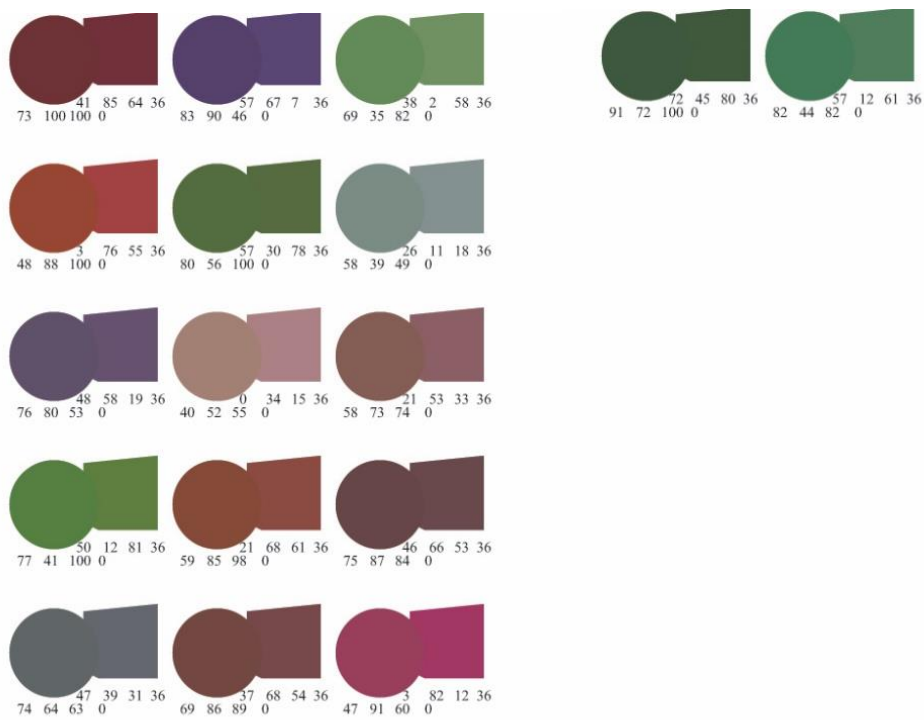
38	39.7158	2	4.620264	58	59.0234
3	4.316298	76	76.68177	55	57.17806
57	54.92439	30	27.93061	78	78.23341
26	23.37974	11	11.87178	18	16.43149
48	48.39713	58	57.58076	19	17.47293
0	-0.3487	34	32.40143	15	13.83894
21	20.93743	53	54.59455	33	35.76943
50	51.20789	12	10.22087	81	80.92961
21	21.29598	68	69.77481	61	60.08747
46	45.85231	66	67.3221	53	50.17579
47	46.06192	39	38.60275	31	32.09084
37	36.66297	68	67.92604	54	53.67594
3	3.421411	82	79.65998	12	10.94627
72	70.77891	45	44.59265	80	78.46597
57	59.01888	12	12.04642	61	61.86918

Razlika podataka i izračun

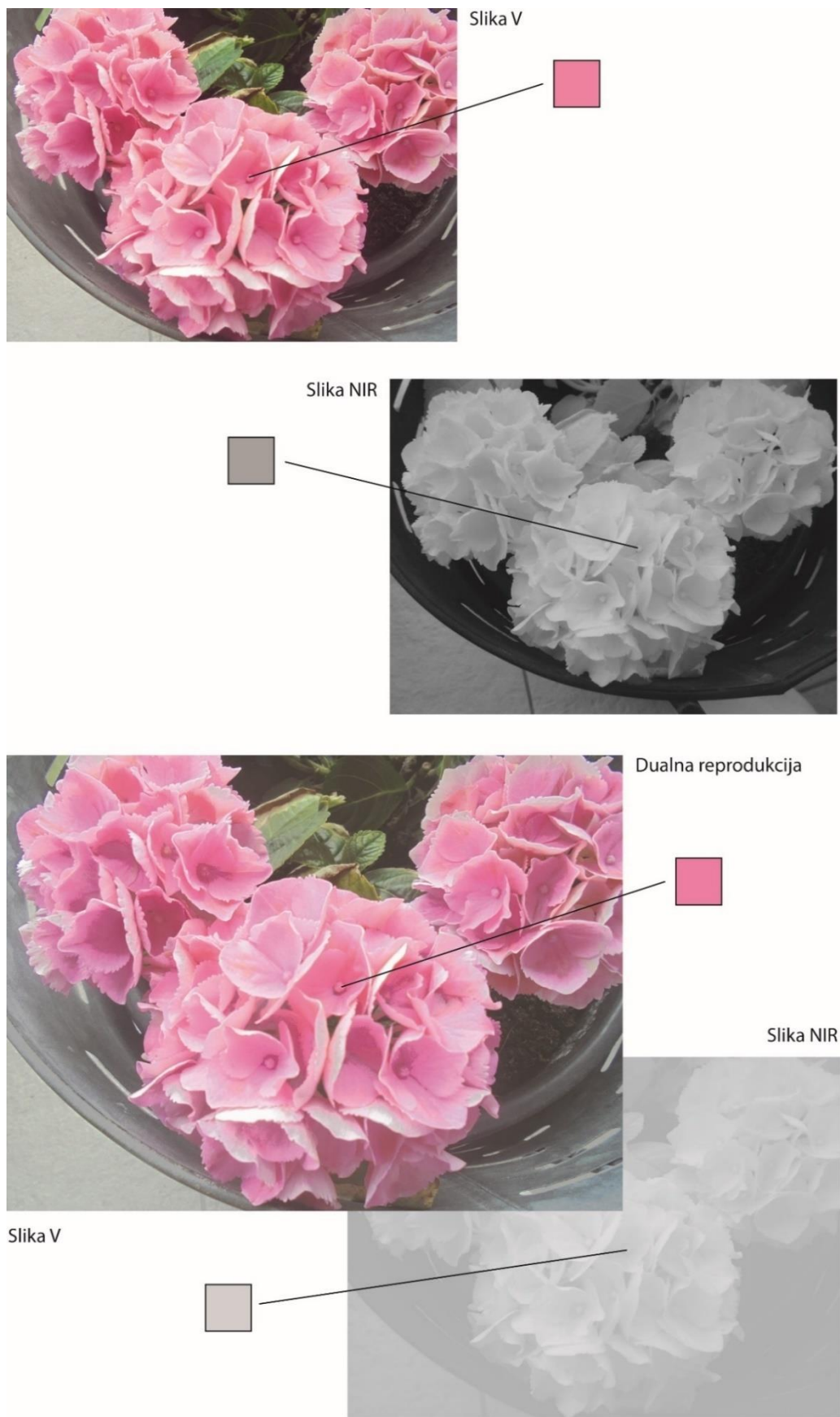
žuta	cijan	magenta
Y3var-Y ₃₆	C3var-C ₃₆	M3var-M ₃₆
-0.02781	1.259258	0.60696
-2.78349	-1.6369	-0.78018
-1.0234	-1.7158	-2.62026
-2.17806	-1.3163	-0.68177
-0.23341	2.075614	2.06939
1.568511	2.620256	-0.87178
1.527073	-0.39713	0.419238
1.161063	0.3487	1.598566
-2.76943	0.062571	-1.59455
0.070392	-1.20789	1.779133
0.912528	-0.29598	-1.77481

2.824214	0.147691	-1.3221
-1.09084	0.938077	0.397246
0.324062	0.337032	0.073959
1.05373	-0.42141	2.340021
1.534032	1.221094	0.407355
-0.86918	-2.01888	-0.04642

Preko regresijske analize napravljene su korekcije blizanaca:



Slika 28. Blizanci flore korigirani regresijskom analizom



Slika 29. Dualna slika, demonstracija matričnog ispisa slike, prikaz slike u vidljivom području s pripadajućom maskom iz NIR područja [47]

Sljedeća faza je razvijanje postojećeg algoritma za izvođenje dualnih slika u dva spektra sa setom blizanaca dobivenih iz prirode. Postojeći algoritam izvršava preinaku fotografija prema parametrima određenim za izvođenje slikarskih boja. Proširenjem i unapređenjem INFRAREDESIGN® tehnologije postiglo se izvođenje dualnih slika algoritmom s parametrima dobivenim mjerenjem flore. Dobiveni parametri integrirani su u algoritam čime se proširila teorija blizanaca i stvorio novi matematički model za prikaz realnog stanja flore u dva spektra.

CMYKIR separacija za spajanje dviju slika zasnovana je se na algoritmu koji koristi kontinuirane transformacije RGB do CMYK definirane kao X_0 do X_{max} , u radu X_{36} . Separacija nudi dvije slike, jednu u vidljivom dijelu spektra, a drugu u NIR dijelu spektra. Njena specifičnost je što su slike potpuno neovisne jedna o drugoj. One mogu biti sasvim različito definirane te osim spektra mogu biti građene i na drugačiji način što osigurava potpuno istinito prenošenje informacije jer nema potrebe za prenošenjem vektorskih slika u rasterske ili obrnuto [4].

4. GRAFIČKA REPRODUKCIJA FLORE S BLIZANCIMA PROCESNIH BOJILA U VIDLJIVOM I BLISKO INFRACRVENOM SPEKTRU

Konačan rezultat svih prethodnih eksperimenata proizašla je reprodukcija flore s realnim prikazom stanja flore u dva spektra kao cilj dugogodišnjeg istraživanja. Standardna reprodukcija flore s procesnim bojilima u dva spektra daje realnu sliku u vidljivom dijelu spektra dok u NIR dijelu spektra ne možemo dobiti reprodukciju realnog stanja prirode. Ako pogledamo sliku 30. i sliku 31. gdje je napravljena usporedba standardne reprodukcije flore i dualne reprodukcije flore s algoritamski generiranom NIR slikom, lijepo se vidi razlika. Razlike se najviše očituju prilikom proučavanja detalja koji kod standardne reprodukcije negdje u potpunosti iščezavaju poput ulične lampe iza drveća. Zanimljivo je da u standardnoj reprodukciji vidimo sjene koje se u NIR reprodukciju gotovo uopće ne naziru. U nastavku su prikazani rezultati eksperimenta.

Prikaz rezultata za fotografiju Javor:



Slika 30. Slika Javor; Standardna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra



Slika 31. Slika Javor; Dualna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra

Proučavanjem fotografija iz vidljivog djela spektra možemo primijetiti da nema većeg odstupanja između slika napravljenih standardnom reprodukcijom i onih pripremljenih za dualnu reprodukciju.

Kod slika pripremljenih za NIR područje spektra, na obje izvedene reprodukcije, primjer „Javor“ i „Livada“, vidljive su značajne razlike. U primjeru „Javor“ za standardnu reprodukciju na slici 30. u NIR spektru vidljivo je poprilično gubljenje informacija te prevladava bijela boja, preko koje su se površine stopile jedna u drugu, npr. dio drveta je potpuno nestao kao i cijeli nogostup. Na kolniku je vidljiva sjena drveća što nije uobičajeno za fotografije gledane kroz kamere u infracrvenom području. Kod primjera „Javor“ koji je pripremljen za dualni prikaz s realnom reprodukcijom flore sa slike 31. vidljivo da NIR slika sadrži sav sadržaj koji je vidljiv u NIR području spektra. Lijepo razaznajemo sve elemente sa slike, čak i linije s kolnika i nogostupa.

Prikaz rezultata za fotografiju Livada:



Slika 32. Slika Livada; Standardna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra



Slika 33. Slika Livada; Dualna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra

Kod primjera „Livada“ još se bolje vidi drastična razlika između prikazanih vrsta reprodukcija. Vidljiva slika kao i na primjeru „Javor“, nema gotovo nikakve razlike u prikazu elemenata sa slike. Velika razlika se očituje na slikama za NIR područje. Ako pogledamo standardnu reprodukciju, vidimo da je i kod ovog primjera došlo do gubljenja informacija te da su se neki elementi izgubili. Pogledamo li floru, znamo da se ne radi o slici s realnim prikazom prirode jer flora, kao što je ranije pojašnjeno, reflektira svo sunčevo zračenje te je vidimo kao bijelu. Kod veoma lijepo izvedenog primjera „Livada“ za dualnu reprodukciju imamo tipičan primjer NIR prikaza flore gdje je flora svijetla, a zemlja tamna.

Proučavanjem ovih primjera možemo zaključiti da je grafička reprodukcija flore s blizancima procesnih bojila u vidljivom i blisko infracrvenom spektru uspješno izvedena. Razvijeni matematički model može izvesti realnu reprodukciju flore, čime je unaprijeđena INFRAREDESIGN® tehnologija. Ova vrsta tehnologije nalazi svoju primjenu prilikom izrade aplikacije za tekstil te su napravljena mnoga testiranja za izvođenje najboljeg otiska na tekstilu [33, 48].

5. ZAKLJUČAK

Grafička reprodukcija sama je po sebi kompleksan proces kroz koji prolaze svi predlošci za tisak. Postoji mnogo parametara koji se prate kroz cijeli tijek reprodukcije od originala do otiska. Kako je u radu dodana komponenta i oku nevidljivog dijela spektra, prošireno je područje promatranja i praćenja pripremljenih uzoraka te je time i sama reprodukcija postala puno kompleksnija za izvođenje.

Reprodukcija flore ideja je proizašla iz dugogodišnjeg promatranja flore na uređajima za spektralnu digitalnu forenziku koji pružaju uvid u tri spektralna područja, ultravioletno, vidljivo i blisko infracrveno. U ovom radu pristupilo se snimanju i izvođenju reprodukcije za vidljivo i blisko infracrveno područje kao nastavak na istraživanje i proširenje INFRAREDEIGN[®] tehnologije.

Uzorci su pomno odabrani iz područja koje u ove svrhe još nije promatrano zbog čega su definirani novi parametri prilikom njihovog snimanja u laboratoriju. Izabrani su uzorci iz prirode, ali se fokus stavio na floru. Poistovjećivanje prirode s njenom reprodukcijom korisna je i pri izradi kompleksnih umjetničkih djela, enciklopedija te literature koja proučava tu vrstu materije. Flora obuhvaća širok spektar mogućnosti odabira u vidljivom dijelu spektra dok je u NIR dijelu poprilično jednolična. No postoje dijelovi flore zbog kojih ne možemo reći da je flora bijela i jednolična u potpunosti. Kora drveta potpuna je suprotnost od lista i cvijeta te je ona uvijek tamnija jer apsorbira sunčevo zračenje. Zato su se prilikom planiranja eksperimenta birale različite vrste flore pa je odlučeno da će se proučavati četiri uzorka iz prirode. Predstavnici žive flore su ružičasta latica ruže, zeleni list drveta breze, crveni plod voćke jabuke i smeđa kora drveta vrbe. Pritom se pazilo da se uzorci razlikuju i u vidljivom dijelu spektra te nisu birani oni iste boje ili nijanse.

U drugom poglavlju se radilo izjednačavanje dviju boja preko spektrograma i ΔE vrijednosti, boje su iz uzoraka uzimane digitalnim putem. Iz velike autoričine arhive fotografija flore, izabrano je njih dvadeset dvije. Fotografije su ZRGB kamerom zabilježene u dva stanja spektra. Za svaki uzorak uzet s fotografije naznačilo se mjesto očitavanja uz brojčano označavanje svake pozicije. Željelo se prikupiti puno raznolikih boja za što vjerodostojniju

reprodukciju flore. Izabrano je devedeset boja od kojih su konstruirani blizanci bojila raspodijeljeni na šest testnih listova. Eksperimentalne iteracije provodile su se za sve uzorke. Neke boje su zbog istih kolorimetrijskih vrijednosti eliminirane tijekom testiranja te je proizvedena baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore od pedeset devet gotovih blizanaca bojila. Ovo testiranje prethodilo je testiranju žive flore, koje se radilo u trećem poglavlju.

Analizom je potvrđeno da su vrijednosti pigmenta uzoraka žive flore i vrijednosti iste nijanse boje uzete digitalnim putem kolorimetrijski gotovo iste. Ustanovljeno je da spektrofotometrijske krivulje oba uzorka imaju pikove u istim intervalima vidljivog i NIR spektra te je zaključeno da će se za grafičku reprodukciju flore u dva spektra koristiti blizanci bojila iz kreirane baze boja.

U trećem poglavlju se pristupilo spajanju dviju slika flore iz vidljivog i blisko infracrveno područja spektra. Uvjet za kvalitetnu reprodukciju prvenstveno je bilo napraviti dobru fotografiju na kojoj će biti uhvaćen isti kadar za vidljivo i NIR područje. ZRGB kamerom napravljeno je pedesetak fotografija, no nisu sve bile uspješne. Važan segment prilikom snimanja ovakvih fotografija je ljudski faktor poput drhtavosti ruke, kao i kretanja prirode. Odabirom najpodobnijih fotografija mogli smo pristupiti spajanju izabranih predložaka. U radu su prikazana dva načina spajanja fotografija, ručno i digitalno. Kod ručnog spajanja fotografije bilo je gotovo nemoguće podesiti da se svi segmenti vidljivog dijela spektra poklope s istim segmentima u NIR dijelu spektra. Prikazane su dvije fotografije kod kojih je demonstrirano ručno spajanje te su vidljiva odstupanja u rezultatu. Uz to što je procedura zahtjevna, nije pružila kvalitetu potrebnu za optimalnu grafičku reprodukciju. Drugi način spajanja slika dvaju spektralnih područja dao je odlične rezultate preklapanja piksela.

Izvodila se deformacija piksela prilikom koje nismo gubili na vrijednostima sivih tonova na NIR slici, već su se isti pomicali prema zadanoj matrici i tako prilagođavali slici u vidljivom području. Ova vrsta prilagođavanja piksela zahtijevala je kompleksniju pripremu fotografija prije izvođenja programskog rješenja za deformaciju slike osmišljenu za potrebe INFRAREDEIGN® tehnologije. Najvažniji korak bio je pravilno definirati repere na obje fotografije i prema njima napraviti korekcije piksela.

U četvrtom poglavlju prikazan je razvoj algoritamskog rješenja za spajanje dviju slika različitog spektra s pridruženim setom blizanaca bojila uslijedio je nakon pravilno izvedene deformacije slike NIR dijela spektra. Za ovaj dio eksperimenta određeno je sedamnaest blizanaca bojila koji su išli u daljnju analizu. Razvoj algoritma zahtijevao je izvođenje matematičkog modela koji se zatim integrirao u postojeći algoritam za spajanje slika. Matematički model napravljen je regresijskom analizom dobivenih vrijednosti iz flore za $K=36$. Za izvođenje matematičke interpolacije pristupilo se stvaranju blizanca iste nijanse boje kao X_0 gdje je $K=0$, sa zadanom vrijednosti $K=36$ te je on označen s X_{36} . Analiza je definirala međuzavisnost navedenih eksperimentalnih vrijednosti te je iz toga proizašla formula koja će algoritamski, za iste pozicije piksela na slici za vidljivo područje i NIR područja spektra, izvršiti matematičku interpolaciju.

Uspješnim izvođenjem matematičke interpolacije dobivene su vrijednosti blizanaca bojila iz flore koji su integrirani u postojeći algoritam, čime je postignuto proširenje i unapređenje INFRAREDESIGN® tehnologije te se ostvario izvorni znanstveni doprinos. Kao rezultat svih istraživanja u ovom radu napravljena je grafička reprodukcija flore s blizancima procesnih bojila u vidljivom i blisko infracrvenom spektru. Eksperimentalno je utvrđena razlika između standardne reprodukcije flore i dualne reprodukcije flore u vidljivom i NIR području spektra. Iako u vidljivom dijelu gotovo nema uočljive razlike, kod slike u NIR dijelu vidljivo je veliko odstupanje u reprodukciji tog skrivenog dijela spektra. Uspješna reprodukcija flore u dva spektralna područja najveću primjenu pronalazi pri izradi kamuflažne uniforme. A pomoću kreirane baze podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore sada se može kreirati uniforma za sva godišnja doba.

Na kraju disertacije, kao prilog prikazana je spomenuta baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore. Za kreiranje ovakvog sadržaja pristupilo se eksperimentalnom mjerenju opisanom u trećem poglavlju na primjeru jednog testnog lista. Baza sadržava pedeset devet blizanaca bojila pripremljenih za grafičku reprodukciju flore čime je ova disertacija dobila na još većoj vrijednosti te dodatno doprinijela razvoju grafičke tehnologije.

6. LITERATURA

- [1] Kippman, H. (2001) Handbook of printed media. Springer (September 21, 2001), ISBN-13: 978-3540673262
- [2] Pap, K.; Žiljak, I.; Žiljak-Vujić, J. (2008) Process color management for producing double images. Annual 2008 of the Croatian Academy of Engineering. 1 ; ISSN 1332-3482, pp. 395-410
- [3] Žiljak, V.; Pap, K.; Žiljak, I. (2009) CMYKIR security graphics separation in the infrared area. Infrared Physics & Technology. 52, 2-3 , ISSN 1350-4495, pp. 62-69
- [4] Žiljak, V.; Pap, K.; Žiljak-Vujić, J.; Žiljak, I. (2009) Infraredesign ili CMYKIR separacija. Inovacijska kultura i tehnologijski razvoj. Božičević, Juraj (ur.). Zagreb: Hrvatsko društvo za sustave. ISBN 978-953-6065-32-5, pp. 169-174
- [5] Žiljak, V.; Pap, K.; Žiljak Stanimirović, I. (2011) Development of a prototype for ZRGB infraredesign device. Technical Gazette. 18, 2; ISSN 1330-3651, pp. 153-159
- [6] Žiljak, V.; Pap, K.; Žiljak Stanimirović, I.; Žiljak Vujić, J. (2012) Managing dual color properties with the Z-parameter in the visual and NIR spectrum. Infrared physics & technology. 55, 4; ISSN 1350-4495, pp. 326-336
- [7] Mihoci, M. (2015) Spektrofotometrijsko određivanje boje. Kemija u industriji : Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske. 64, 11-12; ISSN 0022-9830, pp. 681–694
- [8] Monteiro Pastore, T. C.; Batista Braga, J. W.; Rauber Coradin, V. T.; Esteves Magalhaes, W. L.; Arakaki Okino E. Y.; Alves Camargos J. A.; Bonzon de Muniz, G. I.; Bressan, O. A.; Davrieux, F. (2011) Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixa. *Holzforschung* 65. 1; ISSN 0018-3830, DOI: 10.1515/hf.2011.010, pp. 73–80

- [9] Margaletić, J.; Hus, M.; Glavaš, M. (2003) Kemijske analize šumskoga sjemena kao izvora hrane sitnih glodavaca FT-IR spektroskopijskom tehnikom. Šumarski institut Jastrebarsko. 38, 1; ISSN 0351-1693, pp. 55-64
- [10] Pavičić, Đ.; Jerolimov, V.; Dejanović, R. (1992) Istraživanje zaostalog monomera u poli (metilmetakrilatnim) smolama postupkom infracrvene spektrofotometrije. *Acta stomatologica Croatica*. 26, 3; ISSN 0001-7019, pp. 195–202
- [11] Bernašek, A.; Žiljak Vujić, J.; Uglješić V. (2014) Vizualni i infracrveni spektar za bojila digitalnog tiska. *Polytechnic and design*. 2, 2; ISSN 1849-1995, pp. 163-168
- [12] Pap, K.; Žiljak, I.; Žiljak Vujić, J. (2010) Image Reproduction for Near Infrared Spectrum and the Infraredesign Theory. *The Journal of imaging science and technology*. 54, 1; ISSN 10623701, pp. 10502 -1-10502 -9
- [13] Žiljak Vujić, J.; Bernašek, A.; Žiljak Stanimirović, I. (2014) Spektri blizanaca plave boje z14 za ofsetni tisak po INFRAREDESIGN teoriji. 18. međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić. Miroslav Mikota (ur.), pp. 350-359
- [14] Žiljak Gršić, J. (2017) Bliska infracrvena spektroskopija u tiskarskoj tehnologiji. *Polytechnic and design*. 5, 1; ISSN 1849-1995, DOI: 10.19279/TVZ.PD.2017-5-1-05, pp. 32-36
- [15] Billmeyer, F. W.; Saltzman, M. (1981) *Principles of color technology*, 2nd Edition. Wiley; 2 edition, ISBN-13:978-0471030522
- [16] Berns, R. S. (2000) *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, 3rd Edition. ISBN: 978-0-471-19459-0
- [17] Kumar, A.; Choudhury, R. (2015) *Principles of Colour and Appearance Measurement, Volume 2: Visual Measurement of Colour, Colour Comparison and Management*. Woodhead Publishing, ISBN: 978-1-78242-367-6, DOI: 10.1016/C2014-0-01832-1 9
- [18] Bernašek, A.; Žiljak, V.; Žiljak Vujić, J.; Uglješić, V. (2015) Poistovjećivanje prirode i reprodukcije prirode u vizualnom i infracrvenom području. 19.

- Međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija, Miroslav Mikota, (ur.), pp. 50-55
- [19] Davies A. (2017) Digital Ultraviolet and Infrared Photography (Applications in Scientific Photography) 1st Edition. Routledge; 1 edition, ISBN-13: 978-1138200173
- [20] Žiljak Vujić, J.; Matuško Antičić, Lj.; Crnjac, S. (2016) Sigurnosne tehnologije zaštite dokumenata. Polytechnic and design, 4, 2; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2016-4-2-12, pp. 187-195
- [21] Matas, M.; Žiljak Vujić, J.; Hoić, A. (2016) Sakrivene informacije na tekstilu u dizajnu za vizualni i infracrveni spektar. Polytechnic and Design. 4, 3; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2016-4-3-13, pp. 339-343
- [22] John H. Xin (2006) Total Colour Management in Textiles Woodhead Publishing. ISBN: 978-1-85573-923-9
- [23] Agić, D.; Agić, A.; Bernašek A. (2013) Blizanci bojila za proširenje infra informacijske tehnologije. Polytechnic and Design. 1, 1; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2013-1-1-03, pp. 27-32
- [24] Žiljak-Vujić J., Bernašek A., Koren T. (2011) Designing Raster Cells as the Basis for Developing Personal Graphic Language, Journal of graphic engineering and design, Vol. 2, ISSN 2217- 379X, 31 – 37 2.
- [25] Koren, T., Žiljak V., Rudolf M., Stanić-Loknar N., Bernašek A. (2011) Mathematical models of the sinusoidal screening family and their application, Acta Graphica 22, ISSN 0353 – 4707, 11 -19
- [26] Žiljak Vujić J. ; Agić A. ; Žiljak-Stanimirović I.; Nassirzadeh, M. (2014) Theory of twin colorants response in visual and infrared spectrum. Proceedings - The Seventh International Symposium GRID 2014, Dragoljub Novaković (ur.), pp. 13-14.
- [27] Žiljak V.; Pap K. (1999) Postscript programiranje. ISBN 953-199-000-X
- [28] Žiljak V.; Pap K.; Žiljak I. (2009.) CMYKIR security graphics separation in the infrared area, Infrared Physics and Technology. 52, 2- 3; ISSN 1350-4495

- [29] Žiljak; V.; Pogarčić I.; Žiljak Vujić J.; Pap K.; Žiljak Stanimirović I. (2015.) Models of connecting two pictures and CMYKIR separation for visual and infrared light spectrum. International scientific symposium of Graphic technologies and design. Proceedings, GeTID & teh 2015, Travnik, Bosnia and Herzegovina, Darko Babić (ur.), ISSN 2232-8831; pp 38 – 42
- [30] Miljković P.; Kudumović M.; Jurečić D.; Bernašek Petrincec A. (2018.) Skrivene informacije u blizancima boja na ambalaži. Polytechnic and Design. 6, 4; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2018-6-4-04, pp. 228-223
- [31] Žiljak Gršić J. (2018.) Dvostruki QR cod s unakrsnim blizancima bojila za vizualni i infracrveni spektar. Polytechnic and Design. 6, 3: DOI: 10.19279/TVZ.PD.2018-6-3-04, pp. 159-165
- [32] Žiljak I.; Pap K.; Žiljak-Vujić J. (2008.) Infraredesign. ISBN 978-953-7064-09-9
- [33] Žiljak Vujić J.; Zečević M.; Žiljak V. (2015.) Simulation the colors from nature with twins dyes to camouflage military uniform. Tekstil. 64,3-4; ISSN 0492-5882, UDK 677.027.4/5: 677.016.424, eng. pp: 89 - 95, hr. pp: 81-88
- [34] Žiljak V.; Tepes Golubić L.; Žiljak Gršić J.; Jurečić D. (2018.) Security Methods in the Art and Science using Spectroscopy in the Visual and Near Infrared Range. International Journal of New Technology and Research. 4, 8; ISSN:2454-4116, pp. 48-52
- [35] Jurečić D.; Kudumović M.; Bogović T.; Morić-Kolarić B. (2018.) Informacije o apsorpciji svjetla u bliskom infracrvenom spektru za bojila s kojima se reproduciraju umjetnička djela. PRINTING & DESIGN 2018. Jana Žiljak Gršić (ur.), pp. 124-129
- [36] Pap K.; Žiljak I.; Vujić Žiljak J. (2010.) Image reproduction for near infrared spectrum and the INFRAREDESIGN theory. Journal of Imaging Science and Technology, vol. 54, 1; pp.10502-1- 10502-9(9)
- [37] Žiljak Vujić J.; Žiljak Stanimirović I.; Međugorac O. (2012) Hidden information in visual and infrared spectrum. Informatol. 45, 2; UDK : 655.3.06:7.05:535-1; pp. 96 – 102

- [38] Žiljak V.; Pap, K.; Stanimirović Žiljak I.; Vujić Žiljak J. (2012) Managing dual color properties with the Z- parameter. *Infrared physics & technology* 55 ,4; pp. 326-336
- [39] Žiljak I.; Pap K.; Žiljak V. (2008.) Translation of the Infrared into a Visible Area with Double Separation. *Proceedings of the 19th Central European Conference on Information and Intelling Systems. Varaždin : Faculty of Organization and Informatics, ISBN: 978-953-6071-04-3, pp. 397-400*
- [40] Pap K; Žiljak Vujić J.; Leiner Maksan U.; Uglješić V. (2013.) Metoda izrade dualnog portreta na osobnim dokumentima, *Polytechnic and Design.* 1,1; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2013-1-1-04
- [41] Žiljak I.; Žiljak Vujić J.; Pap K. (2008.) Colour control with dual separation for Daylight and Daylight. *Proceedings of the 35th International Research Conference of Iarigai. Infrared light, Advances in Printing and Media Technology.* 35; ISBN: 987-3-9812704-0-2, pp. 273-278
- [42] Mingzhenga Z.; Zhe C.; Haoxueb L. (2010.) The Research on Special Printing Effects Based on Gray Component Replacement. *Scientific.* 174, ISSN: 1662-8985, doi:10.4028/www.scientific.net/ AMR.174.251, pp. 251-254
- [43] Agić D.; Žiljak Stanimirović I.; Agić A. (2014.) Appliance of twins as a waw for achieving secure hidden image in infrared technology. *Polytechnic and Design* 2, 2; DOI: 10.19279/TVZ.PD.2014-2-2-01, pp. 143-151
- [44] Žiljak V.; Žiljak I.; Pap K.; Žiljak Vujić J. (2008.) IR securities area with process colors. *TISKARSTVO* 08. ISBN: 978-953-7064-08-2, pp. 40-41
- [45] Wang C.; Li C.; Huo Dalian L. (2012.) A security printing method by black ink hiding infrared image. *Applied Mechanics and Materials.* 200; ISSN: 1662-7482, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.200.730, pp. 730- 733
- [46] Žiljak V.; Pap K.; Žiljak I. (2009.) CMYKIR security graphics separation in the infrared area. *Infrared Physics and Technology.* 52, 2-3; ISSN 1350-4495, DOI:10.1016/j.infrared.2009.01.001, pp. 62-69
- [47] Bernašek Petrinc A.; Žiljak Gršić J.; Stanačev Bajzek S. (2018) Infrared painting in fine art of Nada Žiljak, 5th International Multidisciplinary scientific conference

on social science & arts, SGEM 2018, Conference proceedings 5, Science and art, Issue 6.1. ISBN 978-619-7408-34-8, ISSN 2367-5659, DOI: 10.5593, pp: 391-396

- [48] Možina K., Rat B., Majnarić I. Bernašek A. (2013) Vizibilitatea elementelor grafice de pe materialele textile, *Industria Textila*, 5/2013, ISSN 1222–5347, 233–300

7. POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFOVA

7.1. Popis slika

Slika 1. Tri faze sušenja zelenog, žutog i crvenkastog lista drveta javora

Slika 2. Tri faze sušenja zelenog, žutog i crvenkastog lista drveta javora, u NIR području na 850nm

Slika 3. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, 1. faza (1. dan sušenja)

Slika 4. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, 2. faza (3. dan sušenja)

Slika 5. Mikroskopski prikaz segmenta zelenog, žutog i crvenkastog lista, 3 faza (7. dan sušenja)

Slika 6. Lijevo: Limun u svom prirodnom obliku, desno; segment limuna spreman za mjerenje mjerenja

Slika 7. AB1 Blizanci OKI, prva faza, 15 boja

Slika 8. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 9. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 10. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 11. AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 12. AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 13. AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 14. AB1 Blizanci OKI, 7. iteracija, 12 blizanaca bojila iz baze boja

Slika 15. Flora u prirodnom okruženju, cvijeće maćuhice slikano ZRGB kamerom

Slika 16. Flora sa sajma Flora Art, cvijeće slikano ZRGB kamerom

Slika 17. *Uzorak flore; ružičasta latica ruže slikana ZRGB kamerom u proljeće 2020. u vidljivom i NIR područje spektra*

Slika 18. *Uzorak flore; ružičasta latica ruže slikana u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u proljeće 2020.*

Slika 19. *Uzorak flore; zeleno lišće drveta breze slikano ZRGB kamerom u ljeto 2020. u vidljivom i NIR područje spektra*

Slika 20. *Uzorak flore; zeleno lišće drveta breze slikano u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u ljeto 2020.*

Slika 21. *Uzorak flore; crvenog plod jabuka slikano ZRGB kamerom u jesen 2020. u vidljivom i NIR područje spektra*

Slika 22. *Uzorak flore; segment crvenog ploda jabuke slikan u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u jesen 2020.*

Slika 23. *Uzorak flore; smeđa kora drveta vrbe slikana ZRGB kamerom u zimu 2020. u vidljivom i NIR području spektra*

Slika 24. *Uzorak flore; smeđa kora drveta vrbe slikana u uređaju za spektralnu digitalnu forenziku Projectina Docucenter 4500 i softverom PIA 7000 pod barijernim filterima na 715, 780, 850 i 1000 nm u zimu 2020.*

Slika 25. *Ručno izvođenje slika s dualnim karakterom, primjer 1*

Slika 26. *Ručno izvođenje slika s dualnim karakterom, primjer 2*

Slika 27. *Slika Javor; Prikaz usporedbe fotografija, te definiranje repera na NIR slici*

Slika 28. *Blizanci flore korigirani regresijskom analizom*

Slika 29. *Dualna slika, demonstracija matričnog ispisa slike, prikaz slike u vidljivom području s pripadajućom maskom iz NIR područja*

Slika 30. *Slika Javor; Standardna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra*

Slika 31. Slika Javor; Dualna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra

Slika 32. Slika Livada; Standardna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra

Slika 33. Slika Livada; Dualna reprodukcija flore u vidljivom i NIR području spektra

Slika 34. Primjer šifriranja za bazu: slika BS1 s oznakama

7.2. Popis grafova

Graf 1. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista javora u 3 faze, točka 2

Graf 2. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista javora u 3 faze, točka 5

Graf 3. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka žutog lista javora u 3 faze, točka 1

Graf 4. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka žutog lista javora u 3 faze, točka 5

Graf 5. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crveno žutog lista javora u 3 faze, točka 1

Graf 6. Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crveno žutog lista javora u 3 faze, točka 5

Graf 7. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 8. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS1 T3 i BS1 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 9. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 10. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS2 T3 i BS2 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 11. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS3 T1 i BS4 T1 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 12. AB1 Blizanci OKI, 1. iteracija, blizanci BS3 T3 i BS3 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 13. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 14. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS1 T3 i BS1 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 15. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 16. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanci BS2 T3 i BS2 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 17. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanac BS3 T1 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 18. AB1 Blizanci OKI, 2. iteracija, blizanac BS3 T3 i BS3 T4 u vidljivom i NIR dijelu

Graf 19. AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu

- Graf 20.** AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS1 T3 i BS1 T4 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 21.** AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 22.** AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 23.** AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, blizanac BS3 T3, u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 24.** AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanci BS1 T1 i BS1 T2 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 25.** AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS1 T3 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 26.** AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 27.** AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 28.** AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, blizanac BS3 T3 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 29.** AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 30.** AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, blizanac BS2 T3 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 31.** AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, blizanac BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 32.** AB1 Blizanci OKI, 7. iteracija, blizanci BS2 T1 i BS3 T6 u vidljivom i NIR dijelu
- Graf 33.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka ružičasta latice ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 34.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista drveta breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 35.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka crvenog ploda jabuke u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 36.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka smeđe kore drveta vrbe u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 37.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka ružičaste latice ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 38.** Spektrofotometrijsko mjerenje ružičastog uzorka BS1 T1 u Projectini Docucenter u vidljivom i NIR području
- Graf 39.** Spektrofotometrijsko mjerenje uzorka zelenog lista u Projectini Docucenter 4500 u pet područja
- Graf 40.** Spektrofotometrijsko mjerenje zelenog uzorka BS3 T6 u Projectini Docucenter u vidljivom i NIR području

7.3. Popis tablica

Tablica 1. *Denzitometrijska mjerenja sušenja uzoraka po fazama*

Tablica 2. *AB1 Blizanci OKI, prva iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim pomakom*

Tablica 3. *AB1 Blizanci OKI, druga iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim pomakom*

Tablica 4. *AB1 Blizanci OKI, 3. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka*

Tablica 5. *AB1 Blizanci OKI, 4. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka*

Tablica 6. *AB1 Blizanci OKI, 5. iteracija, program za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka*

Tablica 7. *AB1 Blizanci OKI, 6. iteracija, algoritam za vizualnu usporedbu boja s definiranim korakom pomaka*

Tablica 8. *Izmjerene CIE L*a*b* vrijednosti uzorka ružičaste latice ruže u Projectini Docucenter 4500 u pet područja*

Tablica 9. *Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka zelenog lista drveta breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja*

Tablica 10. *Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka crvenog ploda jabuke u Projectini Docucenter 4500 u pet područja*

Tablica 11. *Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzorka smeđeg lista drveta breze u Projectini Docucenter 4500 u pet područja*

Tablica 12. *Baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore s preračunatim vrijednostima CMYK=0*

8. ŽIVOTOPIS

Aleksandra Bernašek Petrincec rođena je 16. siječnja 1986. godine u Zagrebu gdje je 2010. godine diplomirala na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom dr. sc. Vilka Žiljka, prof. emeritusa. Nakon završenog fakulteta zapošljava se na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao asistentica na katedri Tiskarski slog i računala. Od ožujka 2012. godine radi na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu gdje je 2015. godine izabrana u nastavno zvanje predavačice, a 2020. godine u nastavno zvanje više predavačice. Aktivno sudjeluje na projektima Tehničkog veleučilišta u Zagrebu kao što je Politehnika 2025 - unaprjeđenje kvalitete visokog obrazovanja. Od 2013. godine postavljena je na mjesto zamjenice urednika znanstvenog časopisa Polytechnic and design i tu dužnost obavlja i danas. Na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu nositeljica je kolegija vezanih uz grafičku tehnologiju, grafičku forenziku, upravljanje bojama i programiranje grafike. Njezin znanstveni interes uključuje istraživanja u područjima zaštitnog tiska i grafičke forenzike. Od 2010. godine objavljuje znanstvene i stručne radove u časopisima i zbornicima radova te sudjeluje na kongresima.

Poglavlja u knjizi

1. Bernašek Petrincec A., Žiljak Gršić J., Stanačev Bajzek S. (2018) Infrared painting in fine art of Nada Žiljak. 5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences & Art SGEM. Sofia, Bulgaria. STEF92 Technology Ltd. 391-396

Znanstveni radovi u časopisima A kategorije

1. Možina K., Rat B., Majnarić I. Bernašek A. (2013) Vizibilitatea elementelor grafice de pe materialele textile, Industria Textila, 5/2013, ISSN 1222–5347, 233–300

Znanstveni radovi u časopisima B kategorije

1. Žiljak-Vujić J., Bernašek A., Koren T. (2011) Designing Raster Cells as the Basis for Developing Personal Graphic Language, Journal of graphic engineering and design, Vol. 2, ISSN 2217- 379X, 31 – 37 2.
2. Koren, T., Žiljak V., Rudolf M., Stanić-Loknar N., Bernašek A. (2011) Mathematical models of the sinusoidal screening family and their application, Acta Graphica 22, ISSN 0353 – 4707, 11 -19

Znanstveni radovi u ostalim časopisima

1. Miljković P., Kudumović M., Jurečić D., Bernašek Petrinec A. (2018) Skrивene informacije u blizancima boja na ambalaži. Polytechnic and Design. Vol. 6 (2018), No. 4; ISSN 1849 -1995, 228-233
2. Bernašek A., Žiljak Vujić J., Uglješić Vesna, (2014) Vizualni i infracrveni spektar za bojila digitalnog tiska. Polytechnic and Design, Vol. 2, No. 2, ISSN 1849 -1995, 163 – 168
3. Agić, Darko.; Agić, Ana; Bernašek, Aleksandra (2013) Blizanci bojila za proširenje infra informacijske tehnologije, Polytechnic and Design, Vol. 1, No. 1, ISSN 1849 - 1995, 27 – 32

Stručni radovi u časopisima

1. Bernašek, A.; Ivančević, Lj. (2016) Sigurnost u dizajnu dokumenata i vrijednosnica. Polytechnic and Design, Vol. 4, No. 1, ISSN 1849 -1995, 27 – 32, 60-66
2. Bernašek A., Uglješić V., Hoić A., Herceg, M., Tokić, I. (2015) Skeniranje dokumenata i novčanica u ultravioletnom i vizualnom spektru kao baza dizajnerima. Polytechnic and Design, Vol. 3, No. 2, ISSN 1849 -1995, 27 – 32, 208-214

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom

1. Stanić Loknar, N.; Koren Ivančević, T.; Rudolf, M.; Bernašek Petrinec, A. (2016) Tipografija u fraktalnoj grafici. Međunarodna konferencija Tiskarstvo i dizajn 2016. Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
2. Bernašek A., Žiljak V., Žiljak Vujić J. Uglješić V. (2015) Poistovjećivanje prirode i reprodukcije prirode u vizualnom i infracrvenom području. 19. međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić. M. Mikota (ur.), ISSN 1848-6193
3. Žiljak Vujić J., Bernašek A., Žiljak Stanimirović I. (2014) Spektri blizanaca plave boje Z14 za ofsetni tisak po INFRAREDESIGN teoriji. 18. međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić. M. Mikota (ur.), ISSN 1848-6193
4. Agić A., Bernašek A. (2014) Principi rada i primjena 3 tipa 3d sustava. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 14, Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
5. Weingerl P., Golob G., Bernašek A., Hladnik A.. (2013) Mottling u digitalnom tisku, Međunarodna konferencija Tiskarstvo 13, Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
6. Rudolf M., Stanić Loknar N., Koren T., Bernašek A. (2012) Individualni filter “kiša” u transformaciji slikovnog elementa. 16. međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić. M. Mikota (ur.), ISSN 1848-6193
7. Rudolf M., Bernašek A., Koren T., Stanić Loknar N. (2012) Zaštitni element poštanskih maraka. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 12, Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
8. Rudolf M., Bernašek A., Turčić M. (2011) Tehnologija rasterskih elemenata I elemenata zaštite u grafičkoj izradi poštanskih maraka Međunarodna konferencija Tiskarstvo 11. Žiljak V. (ur.), ISBN 978-953-7064-16-7
9. Bernašek A., Nađ H., Rudolf M., Koren T. (2011) Motiviranje studenata kroz računarsku grafiku. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 11. Žiljak V. (ur.), ISBN 978-953-7064-16-7

10. Lajkovič J., Pogarčić I., Agić D., Bernašek A. (2010) Objects design that relies on the motivation of trade doctrine. 11th International design conference - Design 2010, Žiljak V., Milčić D. (ur.) ISBN: 978-953-7738-08-211
11. Žiljak-Vujić J., Uglješić V., Bernašek A., Poldrugač P., Posavec D. (2010) The old shares security graphics applied to the new security document, 11th International design conference - Design 2010, Žiljak V., Milčić D. (ur.) ISBN: 978-953-7738-08-2

Drugi radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom

1. Bernašek Petrincec A., Žiljak Gršić J., Stanić Loknar N. (2018) Sigurnosna reprodukcija prirode za potrebe turizma. 5. međunarodna konferencija Inovacije, sigurnost i održivost u razvoju društva. Breslauer N. (ur.), 159-164
2. Bernašek Petrincec A., Štrok J. (2018) Informiranost hrvatske javnosti o zaštitnim elementima na hrvatskim kunama. Međunarodna konferencija Tiskarstvo i dizajn 2018. Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
3. Bernašek A., Uglješić V., Hoić A., Herceg, M., Tokić, I. (2015) Dizajn dokumenata za ultravioletno, vizualno i infracrveno područje. 27. Međunarodni znanstveni skup Tiskarstvo i dizajn 2015., Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
4. Uglješić V., Bernašek A. Kovačićek H. (2014) Motivacija studenata na laboratorijskim vježbama kroz sudjelovanje u stvarnom natječaju. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 14, Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1
5. Solina V., Nožica B., Bernašek A. (2014) Dizajn i implementacija radijalnih izbornika. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 14, Žiljak Vujić J. (ur.), ISBN 978-953-7064-18-1 6.
6. Bernašek A. (2010) Dizajn na vrijednosnicama kao zaštita dokumenta. Međunarodna konferencija Tiskarstvo 10. Žiljak V. (ur.), ISBN 978-953-7064-16-7

9. PRILOG

Uz ovu radnju priložena je eksperimentalno dobivena baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore prikazana i objašnjena u nastavku:

Baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore

Dugogodišnjim istraživanjem u ovom području te mnoštvom testiranih, snimljenih i prikupljenih uzoraka stvorio se fond podataka o flori kakav do sada nije objavljen te se od prikupljenih informacija formirala nova baza podataka svojstava apsorpcije svjetla uzoraka flore. Ona se sastoji od forenzičkog snimanja u četiri spektralne sekcije od 715 nm, 780 nm, 850 nm i 1000 nm i fotografijama s dualnim karakterom snimljenima u vidljivom i NIR spektru.

Snimljeno je mnogo fotografija žive flore, a za potrebe izrade početne baze podataka svojstva apsorpcije uzoraka flore izabrano je devedeset boja. Svaka fotografija posebno je numerirana te se pod tom šifrom uvrštava u bazu. Da bi snalaženje bilo jednostavnije, na svakoj slici označavala su se područja s kojih su se uzimale vrijednosti o dokumentiranim bojama pa svaka boja u tablici posjeduje oznaku rednog broja slike te poziciju gdje se boja nalazi na slici. U nastavku je prikazano šifriranje za bazu boja na slici 34.



Slika 34. Primjer šifriranja za bazu: slika BS1 s oznakama

Ako pogledamo ružičasti cvijet, označen oznakom T1 te će u bazi boja ova ružičasta boja uzorka flore biti pod šifrom BS1 T1, zelena boja lista bit će BS1 T2, crvena boja cvijeta bit će BS1 T3 i tako nadalje. Izabrane i označene dvadeset dvije fotografije.

Početna baza boja zahtijevala je definiranje vrijednosti o bojama prikazane u više kolor sustava, za lakše praćenje točnosti dobivenih informacija pa stoga u početnoj fazi imamo definiran HSB, CIE L*a*b*, RGB i CMYK, uz napomenu da je vrijednost K kanala uvijek 0. Vrijednosti CMYK = 0 predefinirano je stanje u programskom alatu Adobe Photoshopu gdje su se obavljala prva, početna mjerenja vrijednosti boja. Mjerenje u Adobe Photoshopu radilo se pomoću alata digitalna pipeta koja očitava vrijednosti boje te istu prikazuje u raznim kolor

sustavima. Kako bismo dobili blizance bojila, iz dobivenih vrijednosti boje s $CMYK = 0$, u ovom koraku bilo je potrebno preračunati vrijednosti za $CMYK_{max}$, odnosno, odrediti maksimalnu vrijednost K za određenog blizanca. Prilikom formiranja K_{max} vrijednosti morala se obratiti pozornosti da K_{max} vrijednost blizanca ne bude veća od 40 %, prema tumačenjima INFRAREDESIGN® tehnologije. Kako se u radu željela unaprijediti navedena tehnologija za realan prikaz i tisak flore s proširenjem teorije blizanca bojila, preuzeli su se postojeći parametri kao relevantni za nadogradnju.

U tablici su prikazane K_{max} vrijednosti od ekstremno niskih 2 % pa sve do krajnje zadane granice 40 % te su pomoću njih formirani početni blizanci bojila.

Tablica 12. Baza podataka svojstava apsorpcije uzoraka flore s preračunatim vrijednostima CMYK=0

RB	BOJA	DIGITALNO SNIMLJENA BOJA U HSB, L*a*b*, RGB I CMYK=0 SUSTAVU													BLIZANCI BOJILA PRIPREMLJENI ZA REPRODUKCIJU							
		H	S	B	L*	a*	b*	R	G	B	C	M	Y	K=0	C	M	Y	K _{max}	C	M	Y	K=0
1	BS1 T1 (ružičasti cvijet)	335	53	97	67	55	-4	248	117	171	3	62	2	0	0	65	0	2	7	66	2	0
2	BS1 T2 (zeleni list)	91	48	72	70	-27	39	137	183	95	47	13	71	0	41	1	69	13	53	17	73	0
3	BS1 T3 (crveni cvijet)	352	86	79	44	65	36	202	28	51	14	89	65	0	0	88	63	14	29	89	51	0
4	BS1 T4 (ljubičasti cvijet)	318	71	56	36	48	-17	143	42	112	48	84	21	0	34	80	3	21	54	90	33	0
5	BS2 T1 (crveni cvijet)	355	92	75	41	64	44	190	15	30	20	91	76	0	0	88	71	20	37	83	70	0
6	BS2 T3 (ružičasti cvijet)	334	92	66	37	60	5	169	14	82	33	90	43	0	0	85	15	33	45	90	29	0
7	BS2 T4 (zeleni list)	95	69	29	29	-19	26	45	75	23	82	68	91	0	68	41	82	40	88	70	100	0
8	BS3 T1 (žuti cvijet)	50	98	93	82	3	81	236	199	5	5	24	86	0	0	22	87	5	13	26	80	0
9	BS3 T2 (narančasti cvijet)	5	87	81	46	63	51	207	41	27	11	87	77	0	0	86	79	11	85	85	20	0
10	BS3 T3 (crveno žuti cvijet)	353	89	82	46	68	41	210	24	45	9	90	68	0	0	89	69	9	21	87	62	0
11	BS3 T4 (ljubičasti cvijet)	314	75	60	37	53	-22	153	39	126	43	84	7	0	40	84	2	7	45	86	17	0
12	BS3 T6 (zeleni list)	137	39	47	46	-23	13	73	120	86	72	43	68	0	53	8	54	40	80	42	80	0

13	BS4 T2 (bordo cvijet)	340	89	40	21	40	8	102	11	42	65	92	74	0	39	81	52	40	67	98	94	0
14	BS4 T3 (ljubičasto bijeli cvijet)	278	49	40	28	22	-24	85	53	103	74	78	35	0	58	65	8	35	81	87	41	0
15	BS4 T4 (svijetlo ružičasti cvijet)	339	86	82	47	68	14	209	29	92	11	88	35	0	0	88	30	11	20	85	49	0
16	BS4 T5 (crveni cvijet)	352	84	84	47	67	35	214	34	59	8	88	60	0	0	88	61	8	18	85	70	0
17	BS4 T6 (zeleni list)	95	40	56	56	-20	26	110	143	86	59	34	71	0	40	4	60	34	67	32	80	0
18	BS4 T7 (tamno ružičasti list)	314	67	60	39	50	-22	153	50	129	44	82	7	0	40	81	3	7	46	84	16	0
19	BS5 T1 (žuti cvijet)	54	100	89	82	-3	81	227	203	0	9	20	87	0	2	14	88	9	16	20	100	0
20	BS5 T2 (narančasti cvijet)	20	91	83	53	50	59	211	83	18	11	76	81	0	0	74	84	11	20	75	97	0
21	BS6 T2 (tamno rozi cvijet)	358	79	67	39	54	34	172	36	40	30	88	73	0	0	82	61	30	42	89	93	0
22	BS6 T5 (zeleni list)	83	62	39	39	-17	31	76	100	38	71	56	87	0	53	26	77	40	80	56	100	0
23	BS7 T1 (sivi list)	160	6	56	59	-4	0	135	144	141	51	37	38	0	24	9	16	38	48	35	49	0
24	BS8 T2 (tamnocrveni cvijet)	354	78	49	28	42	21	125	28	37	54	90	77	0	22	79	57	40	57	95	97	0
25	BS8 T3 (svijetlo ljubičasti cvijet)	331	67	75	48	56	-5	192	64	125	23	80	14	0	10	78	3	14	29	80	21	0
26	BS8 T4 (tamno ljubičasti cvijet)	329	83	61	36	55	-5	156	27	94	40	88	34	0	9	82	2	34	46	92	51	0

27	BS9 T1 (narančasti cvijet)	20	100	69	43	47	55	177	60	0	28	81	84	0	0	76	84	28	42	84	100	0
28	BS9 T2 (svijetloplavi cvijet)	218	37	78	62	-1	-28	125	152	199	56	31	4	0	55	28	2	4	57	30	2	0
29	BS9 T4 (ljubičasti cvijet)	259	51	42	26	18	-30	69	52	107	80	78	32	0	69	65	7	32	88	88	42	0
30	BS9 T6 (tamnoplavi cvijet, 2. pozicija)	230	61	55	31	12	-42	55	69	140	84	69	11	0	84	64	6	11	89	72	17	0
31	BS10 T3 (žuti cvijet)	49	99	86	75	6	76	220	179	1	11	32	87	0	3	26	88	11	21	34	88	0
32	BS11 T1 (smedeljubičasti list)	317	18	47	44	11	-5	120	99	114	59	60	41	0	31	38	15	40	62	63	52	0
33	BS11 T2 (zeleni list)	82	89	72	68	-37	65	122	183	20	50	10	92	0	46	1	94	10	56	10	100	0
34	BS12 T1 (svijetloplavi list)	225	52	59	39	6	-35	72	91	150	78	59	13	0	76	52	6	13	83	61	14	0
35	BS12 T2 (sivkastoplavi list)	236	24	45	38	4	-15	87	89	114	72	62	40	0	51	38	13	40	77	64	44	0
36	BS12 T3 (bordo list)	337	34	54	44	22	-2	138	91	109	51	66	41	0	18	49	10	40	53	74	56	0
37	BS13 T1 (žuta žila na listu)	57	54	87	85	-9	56	222	216	102	13	11	67	0	3	4	65	11	15	10	66	0
38	BS13 T2 (tamnozeleni list)	74	32	27	28	-5	13	63	68	46	79	72	80	0	63	49	67	40	86	49	67	0
39	BS13 T4 (zeleni list 2)	104	48	45	45	-24	26	75	116	60	71	46	80	0	52	11	69	40	79	44	90	0
40	BS13 T5 (zeleni list 2)	90	100	62	59	-42	59	79	159	0	62	19	93	0	56	0	96	19	68	21	100	0

41	BS14 T1 (ružičasta latica)	358	59	86	56	52	24	220	91	96	8	73	44	0	0	71	42	8	17	72	50	0
42	BS14 T4 (crvena latica)	347	96	63	34	57	28	160	6	40	36	92	72	0	0	86	53	36	50	99	75	0
43	BS15 T3 (narančasta latica 3)	15	100	84	49	61	62	214	55	0	8	82	80	0	0	84	89	8	21	84	98	0
44	BS15 T4 (narančasta latica 4)	31	99	87	60	39	68	222	115	1	7	64	84	0	0	63	88	7	17	66	90	0
45	BS15 T5 (žuta cvijet)	46	99	91	76	11	77	231	178	2	6	35	86	0	1	32	88	6	15	37	94	0
46	BS16 T1 (ljubičasti list 1)	314	27	42	37	16	-8	107	78	100	64	70	45	0	39	51	17	40	72	78	56	0
47	BS16 T1 (ljubičasti list 2)	304	33	39	33	19	-12	99	66	97	68	74	44	0	44	57	15	40	78	84	52	0
48	BS16 T3 (tamnocrveno lišće 1)	3	25	67	58	16	8	170	129	127	36	51	38	0	2	34	15	36	46	58	52	0
49	BS16 T3 (tamnocrveno lišće 2)	354	32	50	42	18	5	128	87	91	55	67	53	0	24	49	29	40	60	75	70	0
50	BS16 T4 (ružičasti cvijet)	321	59	66	45	47	-15	168	69	133	36	77	10	0	29	75	2	10	40	79	12	0
51	BS17 T1 (svjetlozelene iglice)	176	16	75	75	-11	-3	160	190	188	41	14	24	0	33	3	18	14	43	16	28	0
52	BS17 T2 (zelene iglice)	88	65	48	48	-24	38	86	123	43	66	43	87	0	46	8	77	40	78	43	100	0
53	BS19 T1 (zeleni list 1)	104	26	64	64	-17	18	133	164	122	50	24	55	0	37	5	47	24	57	25	63	0
54	BS19 T2 (smeđi list)	19	71	50	35	25	30	127	66	37	53	78	81	0	21	63	64	40	62	82	97	0

55	BS19 T3 (crvenkastožuti list)	21	72	72	51	33	42	184	98	51	26	68	74	0	2	60	66	26	39	73	85	0
56	BS19 T5 (tamnocrveni list 1)	350	52	42	29	26	7	107	51	60	63	82	67	0	37	67	45	40	57	25	63	0
57	BS19 T6 (tamnocrveni list 2)	0	40	39	30	18	8	100	60	60	66	78	69	0	42	62	49	40	73	87	80	0
58	BS19 T7 (sivi list)	290	6	40	42	3	-3	102	97	103	65	59	50	0	43	35	27	40	73	65	62	0
59	BS20 T1 (smečkasti list 1)	1	48	43	31	23	11	109	58	57	62	80	70	0	36	64	50	40	69	86	80	0

Kao što je definirano u trećem poglavlju koje govori o procesu izjednačavanja vrijednosti dviju boja za potrebe formiranja baze, definirani su testni listovi pod nazivom AB1 blizanac OKI, AB2 blizanac OKI, AB3 blizanac OKI, AB4 blizanac OKI, AB5 blizanac OKI i AB6 blizanac OKI. Prema zadanim grupacijama su se radila izjednačavanja boja blizanaca, koji nakon toga bili spremni za reprodukciju. Slične boje i one boje koje su se ponavljale, bile su izdvojene iz eksperimenta te gotova tablica sadrži pedeset devet blizanaca bojila pripremljenih za reprodukciju, od početnih devedeset boja.