

Utjecaj koncentracije fotokromnih pigmenata i korištene tiskovne forme na vizualni doživljaj boje u tehnici sitotisak

Jelkić, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

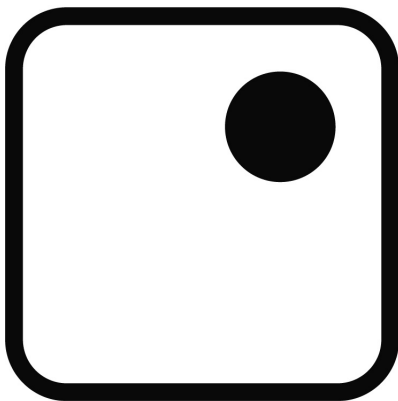
2023

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:216:714130>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Marija Jelkić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko - tehnološki

ZAVRŠNI RAD

**UTJECAJ KONCENTRACIJE FOTOKROMNIH
PIGMENATA I KORIŠTENE TISKOVNE FORME NA
VIZUALNI DOŽIVLJAJ BOJE U TEHNICI SITOTISAK**

Mentor:
Prof. dr. sc. Sanja Mahović Poljaček

Student:
Marija Jelkić

Zagreb, 2023

SAŽETAK

Sitotisak je idealna tehnika za tisak kromogenih boja jer omogućuje velike nanose boje za jače efekte kromogenih boja i tisak na raznim tiskovnim podlogama. Također, sitotisak ne zahtijeva velike pritisne sile pa je opasnost od pucanja mikrokapsula koje sadrže kromogene pigmente vrlo mala. U eksperimentalnom dijelu ovoga rada korištene su boje na bazi fotokromnih pigmenata. Fotokromni pigmenti su pigmenti koji mijenjaju obojenje kada su izloženi ultraljubičastom zračenju ili izravnoj sunčevoj svjetlosti. Korištene su dvije tiskarske boje, kobalt plava i narančasta, svaka u tri različite koncentracije pigmenta. Otiskivanje se provodilo s dvije tiskovne forme različitih linijatura na tri različite tiskovne podloge. Na otiscima su provedena optička i spektrofotometrijska mjerenja te je utvrđen utjecaj koncentracije pigmenta, korištenih tiskovnih formi i podloga na vizualni doživljaj i emisiju u vidljivom području. Mjerenja su pokazala da se povećanjem koncentracije i smanjenjem linijature mrežice tiskovne forme, intenzitet obojenja povećava. Također, istraživanje je pokazalo veliki utjecaj korištenih tiskovnih podloga iz alternativnih izvora na intenzitet i kromatičnost otiska.

Ključne riječi: propusni tisak, fotokromne boje, linijatura, koncentracija pigmenta, tiskovne podloge iz alternativnih izvora

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Povijest propusnog tiska	2
2.2. Tiskovna forma za propusni tisak	3
2.3. Mrežice	3
2.3.1. Geometrija i nomenklatura mrežice	4
2.3.2. Materijali mrežica	7
2.3.3. Boja niti mrežice	8
2.3.4. Kalandriranje mrežice.....	8
2.4. Okviri	8
2.5. Rakeli za propusni tisak.....	9
2.6. Postupci izrade tiskovne forme za propusni tisak.....	10
2.6.1. Fotomehanički postupci.....	10
2.6.2. CtP postupci.....	11
2.7. Tiskovne podloge u propusnom tisku	13
2.8. Tiskarske boje za propusni tisak	14
2.9. Kromogene boje.....	15
2.9.1. Fotokromne boje.....	17
3. EKSPERIMENTALNI DIO	19
3.1. Metodologija rada.....	19
3.2. Korišteni uređaji.....	22
3.2.1. Uređaji za izradu tiskovne forme.....	22
3.2.2. Ostali uređaji	23
3.3. Korišteni materijali.....	24
3.3.1. Materijali za izradu tiskovne forme.....	24
3.3.2. Materijali za pripremu fotokromnih boja	25
3.3.3. Tiskovne podloge	27
4. REZULTATI I RASPRAVA	29
4.1. Spektrofotometrijska analiza tiskovnih podloga	29
4.2. Spektrofotometrijska analiza otisaka	30
4.2.1. Spektralna refleksija uzoraka kobalt plave boje	30
4.2.2. Spektralna refleksija uzoraka narančaste boje	35
4.3. Vizualna analiza otisaka.....	39
5. ZAKLJUČAK	44

6. <i>LITERATURA</i>	46
----------------------------	----

1. UVOD

Tehnika sitotiska je drevna metoda tiskanja koja se razvijala tijekom stoljeća i donijela revoluciju u području grafičke tehnologije. Svojim jednostavnim konceptom i iznimnom prilagodljivošću, sitotisk je postao nezaobilazna tehnika u mnogim industrijskim i umjetničkim područjima. Mogućnost velike debljine nanosa, teoretski neograničena veličina tiskovne forme i njezina fleksibilnost izvrsne su karakteristike tehnike koja pruža tisak na širokoj paleti podloga i gotovih proizvoda. No, primjena sitotiska nije se zaustavila samo na klasičnim tiskovnim podlogama i konvencionalnim bojama. U posljednjim desetljećima, istraživači su se usredotočili na eksperimentiranje s podlogama iz alternativnih izvora i pigmentima s posebnim efektima kao što su fluorescentni, termokromni ili fotokromni pigmenti kako bi ostvarili jedinstvene efekte na tiskovnim podlogama.

Teorijski dio ovoga rada opisuje kratak povijesni razvoj propusnog tiska i njegove primjene u brojnim industrijama. Opisani su glavni čimbenici tiskovne forme, njihove karakteristike, nomenklatura, ali i postupci izrade tiskovne forme, kako konvencionalni tako i digitalni. Navedene su tiskarske boje i tiskovne podloge koje su se koriste za otiskivanje tehnikom propusnog tiska te kromogene boje i pigmenti koji omogućavaju posebne vizualne efekte na otiscima.

U eksperimentalnom dijelu, opisana je metodologija rada te su navedeni svi materijali i uređaji korišteni u pripremi i izradi tiskovnih formi, boja i otisaka.

Tiskovna forma, kao glavni element sitotiska, igra vitalnu ulogu u prenošenju motiva na tiskovnu podlogu. Linijatura korištenih tiskovnih formi, koncentracija pigmenata fotokromnih boja i korištene tiskovne podloge iz alternativnih izvora od ključnog su značaja za postizanje željenih rezultata na otiscima. Na temelju rezultata dobivenih spektrofotometrijskim mjerenjem i vizualnom procjenom, objašnjen je utjecaj svakog od ta tri faktora i doneseni su zaključci.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijest propusnog tiska

Podrijetlo sitotiska seže do drevne Kine i to u vrijeme dinastije Song (960.-1279.), gdje su se šablone koristile za prijenos dizajna na svilene tkanine. Sitotisak se zatim proširio u druge dijelove Azije, poput Japana, Indije i Bliskog istoka. Japanci su koristili istu metodu prijenosa dizajna koju su zvali „katazome“, pri čemu su šablone izrađivali od papira dok je mrežicu činila isprepletena ljudska kosa [1].

Umjetnička tehnika sitotisak dospjela je u Europu u 18. stoljeću isprva koristeći svilu kroz koju se boja protiskivala pomoću četke prije nego što se razvila do navlačenja svile preko drvenih okvira [2]. U 19. stoljeću svilena tkanina iz Azije postala je lakše dostupna pa je time porasla popularnost sitotiska u Europi.

Unatoč ranim počecima ove tehnike, moderan sitotisak kakav je danas poznat razvio se početkom 20. stoljeća kada se počelo eksperimentirati s fotoosjetljivim kemikalijama. Patent je prijavljen tek 1907. godine kada je Samuel Simons preporučio da se za izradu šablone koristi svilena gaza tkana keper tkanjem koja se tada koristila za prosijavanje brašna [3]. U 1910-ima sitotisak je postao popularan kao metoda za ispis dizajna na tekstilu, posebno za industrijske svrhe kao što je stvaranje uzoraka na tkanini i tapetama. Također se koristio u proizvodnji zastava, transparenta i natpisa.

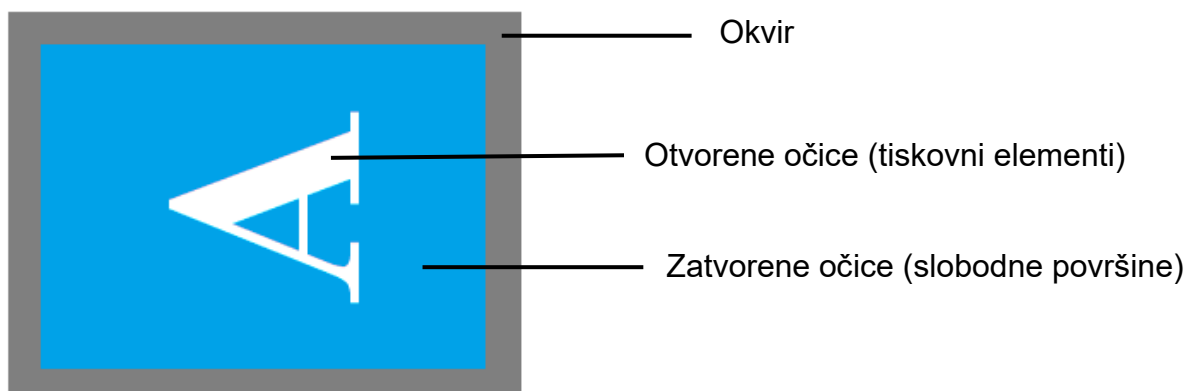
U 1960-ima i 1970-ima, sitotisak je postao usko povezan s rastućim pop art pokretom i kontrakulturom. Umjetnici poput Andyja Warhola, Petera Blakea i Roberta Rauschenberga prihvatili su tehniku, koristeći ju za stvaranje živopisnih i odvažnih otisaka poznatih ličnosti i potrošačkih proizvoda. Svestranost sitotiska omogućila je eksperimentiranje s različitim materijalima, bojama i tehnikama, što je dovelo do jedinstvenih i inovativnih umjetničkih djela. Najpoznatiji primjer je Warhol-ov diptih Marilyn Monroe iz 1962. godine.

Još jedan značajan doprinos sitotisku, donio je američki poduzetnik, umjetnik i izumitelj Michael Vasilantone koji je razvio rotirajući višebojni stroj za sitotisak na odjeću 1960. godine [2]. Taj izum doveo je do procvata tiska na majice. S vremenom se sitotisak razvijao

dolaskom novih tehnologija i materijala. Svilene tkanine zamijenili su sintetički materijali poput poliestera i poliamida, koji su izdržljiviji i lakši za održavanje. Danas se sitotisak i dalje koristi u raznim industrijama, uključujući tekstilnu, elektroničku i ambalažnu te za oglašavanje. Nudi prednosti svestranosti, trajnosti i mogućnosti tiska na širokom rasponu formata i materijala. Od odjeće po narudžbi i promotivnih artikala do velikih industrijskih primjena, sitotisak ostaje popularna i učinkovita metoda za izradu visokokvalitetnih tiskanih proizvoda.

2.2. Tiskovna forma za propusni tisak

Tiskovnu formu za propusni tisak koja se zbog svog izgleda često naziva „sito“ tvore tri čimbenika, a to su: mrežica, okvir i fotoosjetljivi sloj. Mrežica je napeta na okvir te se na njoj, u istoj ravnini, nalaze tiskovni elementi i slobodne površine. Otvorene očice mrežice propuštaju tiskarsku boju i nazivaju se tiskovni elementi, dok očice koje su zatvorene fotoosjetljivim slojem ne propuštaju boju i predstavljaju slobodne površine.



Slika 1 Tiskovna forma za propusni tisak

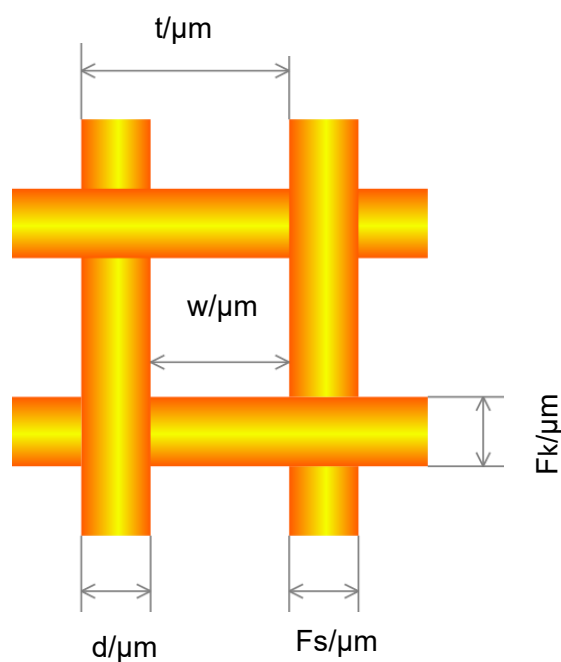
2.3. Mrežice

Kvaliteta otisnutog motiva ovisi o raznim čimbenicima, uključujući vrstu i karakteristike korištene mrežice. U sitotisku postoji nekoliko dostupnih vrsta mrežica, svaka sa svojim

jedinstvenim skupom karakteristika koje mogu utjecati na konačni tiskani proizvod. Te se mrežice mogu razlikovati po materijalu, broju niti, promjeru niti i po drugim karakteristikama. Razumijevanje razlika između ovih mrežica ključno je za postizanje visokokvalitetnih rezultata u sitotisku.

2.3.1. Geometrija i nomenklatura mrežice

Geometrija mrežice opisuje karakteristike strukture mrežice te upravo ona izravno utječe na propuštanje boje, a samim time i na definiranje ruba otiska, potrošnju boje, ali i sušenje boje jer što je nanos boje deblji to je vrijeme sušenja duže.



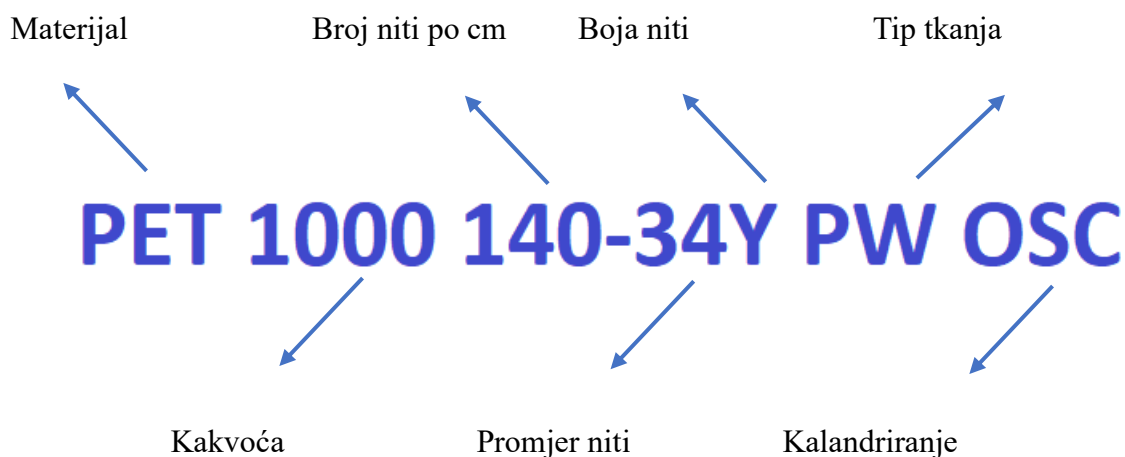
Slika 2 Geometrija mrežice

Osnovne karakteristike mrežica su broj (F_n) i promjer (d) njenih niti dok je osnovna geometrijska jedinica korak mrežice (t). Iz tih veličina izvode se otvor mrežice (w) i debljina mrežice (D) te se može izračunati teoretski volumen boje (V_{th}) [3]. Porastom debljine mrežice, raste i debljina nanosa tiskarske boje na podlogu.

Slika 2 prikazuje geometriju mrežice koja je tkana običnim tipom tkanja i na njoj se mogu vidjeti promjer niti (d) i otvor mrežice (w) čiji zbroj tvori korak mrežice (t) [3]. Osim tih parametara, označene su niti osnove (F_k) i niti potke (F_s) te su sve veličine izražene u μm .

Nadalje, jedan od važnih parametara mrežice je otvorena površina mrežice (α) koja predstavlja iznos otvora mrežice u odnosu na njezinu površinu. [3] Otvorena površina mrežice koristi se za računanje teoretskog volumena tiskarske boje.

Nakon što je sito izrađeno, tj. nakon što je mrežica napeta i učvršćena za okvir sita, sito mora biti označeno kako bi sve njegove karakteristike bile jasno prikazane. Oznaka obično sadrži informacije o napetosti mrežice te opis tipa mrežice koji je korišten za to sito. Opis mrežice sadrži podatke o materijalu od kojega je mrežica izrađena, kakvoći mrežice, linijaturi mrežice, promjeru mrežice, boji mrežice, vrsti tkanja i je li mrežica kalandrirana ili nije, te ako je kalandrirana, onda je prikazano na koji način. Opis tipa mrežice označava se na slijedeći način:



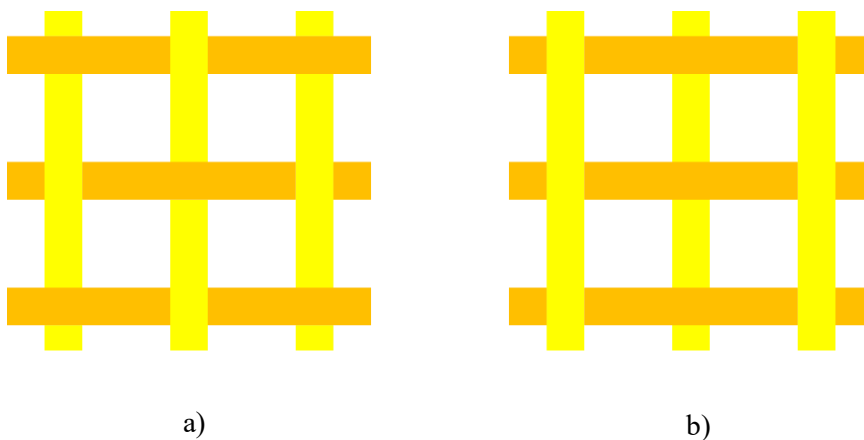
Slika 3 Opis tipa mrežice

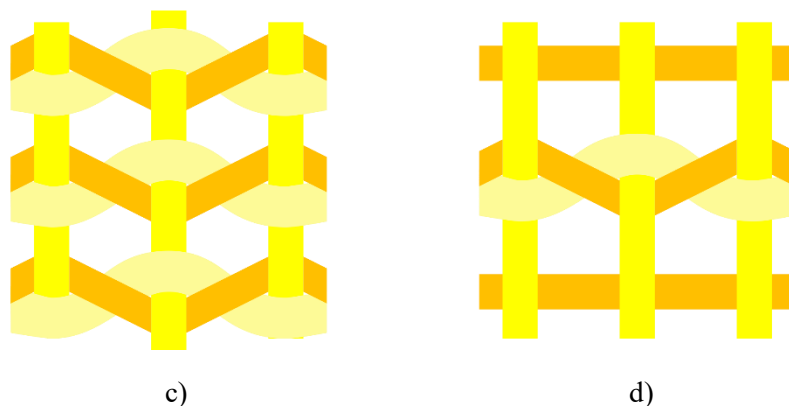
Mrežica na *Slici 3* izrađena je od poliestera (PE), kakvoća joj je 1000, linijatura joj je 140 niti po centimetru, promjer niti joj je 34 μm , žute je boje, običnog tkanja i jedna strana joj je kalandrirana.

Linijatura je iznimno važna vrijednost pri odabiru mrežice. Naime, ona označava broj niti po centimetru dužine i na tržištu se može naći u velikom rasponu, čak do 200 lin/cm. Mrežice malih linijatura se najčešće koriste za jednotonske otiske i otiske u kojima se želi ostvariti deblji nanos boje pa su idealne za specijalne boje i lakove. Mrežice koje imaju linijaturu veću od 120 lin/cm koriste se za detalje i fine tonske prijelaze.

U slučaju da je mrežica obostrano kalandrirana, njezina oznaka bila bi „TSC“ umjesto „OSC“. Također, osim običnog tkanja, postoji još i keper tkanje (TW). Tipovi tkanja opisuju način na koji se isprepleću niti osnove i potke čineći zajedno mrežicu. Razlika između običnog i keper tkanja je što se običnim tkanjem postiže omjer valova jednak 1:1, dok kod keper tkanja omjer može biti 2:1, 2:2 ili 3:3 [3].

Osim običnog i keper tkanja, razlikuju se još tift i mlinarsko tkanje. Obično tkanje ima najslabija mehanička svojstva, ali najveću propusnost za tiskarsku boju. Zatim slijedi mlinarsko tkanje sa srednjim mehaničkim svojstvima i tift tkanje koje, istovremeno, ima najveća mehanička svojstva i najmanju propusnost za boju.





Slika 4 Tipovi tkanja: a) obično b) keper c) tift d) mlinarsko

2.3.2. Materijali mrežica

Materijali od kojih su izrađene mrežice mogu se podijeliti na organske, anorganske i sintetičke materijale.[4] U grupu organskih materijala spadaju prirodna vlakna poput svile i pamuka. Mrežice od pamuka imaju očiće nepravilnih površina i ne mogu podnijeti velik broj otisaka. S druge strane, mrežice od svile imaju nešto pravilnije površine očica pa samim time i veću stabilnost te sposobnost za veći broj otisaka. Danas se većinom koriste za umjetnički sitotisak.

Grupi anorganskih materijala pripadaju metalne niti od kojih se najčešće koriste niti antikoroziivnog čelika. Takve mrežice su vrlo krte i malo se natežu pa se koriste samo za male formate. Međutim, dobra strana metalnih mrežica je njihovo svojstvo visoke toplinske provodljivosti čime se započinje proces sušenja na neupojnim tiskovnim podlogama poput stakla i keramike.

Posljednju grupu čine sintetska vlakna koja su danas najčešći izbor materijala za sitotiskarske mrežice. Predstavnici ove skupine su poliamidna (PA) i poliesterska (PET) vlakna. Obje vrste vlakana imaju izraženu otpornost na abraziju i dobru mehaničku postojanost. Poliamidna vlakna bila su prva u primjeni i najizdržljivija su, posjeduju veću elastičnost i dobre karakteristike površinske napetosti, dok su poliesterska vlakna vrlo otporna na svjetlost i istezanje, nisu osjetljive na klimatske uvjete te omogućavaju precizan registar [3].

2.3.3. Boja niti mrežice

Prilikom odabira mrežice za postupak tiska, osim materijala od kojega je izrađena, važna je i njezina boja. Mrežice se mogu naći u bijeloj i žutoj boji. Prilikom izrade tiskovne forme, mrežica se izlaže UV zračenju pri čemu se osvijetljena područja na kojima je nanosena fotoosjetljiva emulzija stvrdnu. Zrake svjetlosti padaju na niti bijele mrežice i reflektiraju se te raspršuju ispod crnih rubova kopirnog predloška. Na taj način otisnuti rubovi nisu oštri i uzrokuju promjenu boja u višebojnom polutonskom motivu. Da bi takav motiv bio što preciznije otisnut, koristi se žuta mrežica koja je komplementarna ljubičasto-plavoj boji UV zračenja te kao takva apsorbira valne duljine u rasponu od 350-420 nanometara. Kada UV svjetlost padne na žute niti, svjetlost se ne raspršuje i otisnuti rubovi su oštri, stoga se žuta mrežica koristi za tisak polutonova, finih linija i teksta.

2.3.4. Kalandriranje mrežice

Deblji nanosi boje predstavljaju problem kod boja koje suše izlaganjem UV svjetlosti. Naime, boje koje suše na taj način, ne mogu u potpunosti otvrdnuti zato što svjetlost ne prodire kroz čitav debeli nanos boje. Također, problem se javlja i kod višebojnog tiska polutonova. Kalandriranje ili prešanje mrežica je način na koji se može postići smanjenje volumena boje, a samim time i riješiti spomenuti problem. Mrežice se mogu kalandrirati s jedne ili s obje strane. Mrežice koje su kalandrirane s gornje strane (rakelske strane) mogu smanjiti debljinu nanosa boje 10-15%, dok mrežice koje su kalandrirane s donje strane mogu smanjiti debljinu nanosa boje 15-25% pri čemu je kalandrirana strana mrežice uvijek sjajna, a nekalandrirana strana je mat [3].

2.4. Okviri

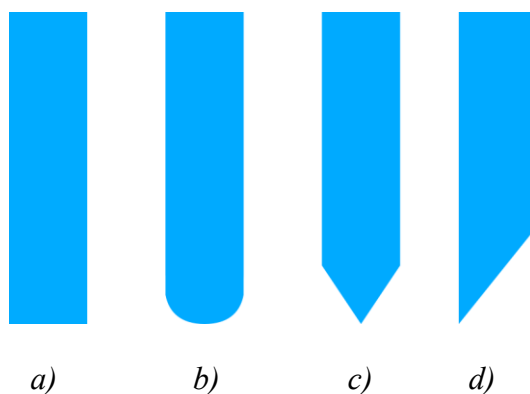
Okvir za sitotisak ima svrhu čvrsto držati napetu mrežicu. Kako bi se osigurala kvaliteta i preciznost tiskanja, takvi okviri moraju biti vrlo izdržljivi te otporni na mehanička oštećenja tijekom izrade šablona i postupka tiskanja. Također, trebaju biti otporni na kemikalije koje

se koriste u procesu izrade šablona, otapala u tiskarskim bojama i sredstvima za čišćenje. Svi dijelovi okvira moraju biti čvrsto zavareni kako bi bili potpuno ravni i ispravljani ako je potrebno. Iskrivljeni dijelovi okvira predstavljaju ozbiljan problem tijekom tiskanja jer uzrokuju greške u registraciji.

Materijali koji se koriste za izradu okvira su: drvo i metal. Drveni okviri su jeftini, laki za rukovanje, no imaju kraći vijek trajanja i nisu dovoljno precizni zato što su podložni utjecaju promjene vlage i temperature. Od metala se najčešće koriste aluminij i čelik te takvi okviri imaju duži vijek trajanja od drvenih okvira. Aluminijski okviri ne hrđaju, male su težine i imaju širok izbor presjeka, dok su čelični okviri jeftini, ali vrlo teški i osjetljivi na koroziju.

2.5. Rakeli za propusni tisak

Rakel ili protiskivač je nož izrađen od gume ili poliuretana. Pritiskom rakela protiskuje se tiskarska boja kroz otvorene očice mrežice i radi se otisak. Rakeli se, osim po materijalu izrade, dijele po tvrdoći i kutu brušenja. Tvrdi rakeli koriste se za velike formate i tiskanje polutonova te njihova tvrdoća iznosi 70-75 Shorea. Meki rakeli koriste se za pune tonove i podloge s neravnom površinom i njihova tvrdoća iznosi 60-65 Shorea. Ovisno o kutu brušenja, rakeli se mogu naći u: kvadratnom obliku, zaobljenom obliku, mogu biti jednostruko ili dvostruko brušeni [3].



Slika 5 Profili rakela: a) kvadratni b) zaobljeni c) dvostruko brušeni d) jednostruko brušeni

2.6. Postupci izrade tiskovne forme za propusni tisak

Prednost tiskovne forme za propusni tisak je mogućnost korištenja istog sita sve dok se niti mrežice plastično ne deformiraju ili puknu. Tiskovna forma za propusni tisak izrađuje se tako što se prvo na sito nanosi fotoosjetljivi sloj, a zatim se izvodi kopiranje i razvijanje osvijetljenog sloja. Postupci izrade dijele se na: fotomehaničke i CtP postupke.

2.6.1. Fotomehanički postupci

Fotomehanički postupci danas su najčešće korišteni postupci izrade tiskovne forme za sitotisak. Tijekom izrade fotoosjetljivi sloj se osvjetljava kroz kopirni predložak pri čemu se osvijetljena područja kemijski mijenjaju. Nakon osvjetljavanja, procesom razvijanja, uklanjaju se područja fotoosjetljivog sloja koja su topljiva u određenom otapalu i ona predstavljaju tiskovne elemente, dok zaostala područja fotoosjetljivog sloja predstavljaju slobodne površine.

Fotomehanički postupci se dijele na direktne i indirektne postupke. Kod indirektnih postupaka, motiv se izrađuje neovisno o tiskovnoj formi. Drugim riječima, fotoosjetljivi sloj se nalazi na poliesterskoj foliji, osvjetljava se u kopirnoj rami, te se, nakon razvijanja, učvršćuje na mrežicu. Njihov nedostatak je slabo povezivanje s mrežicom pa se ne mogu koristiti za veće naklade.

S druge strane, tiskovna forma za propusni tisak može se izraditi na tri direktna načina, a to su [3]:

- Postupak s nanosom emulzije
- Postupak s filmom i emulzijom
- Postupak s kapilarnim filmom i vodom

Postupak s nanosom emulzije započinje odmašćivanjem mrežice kako bi se pripremila za izradu motiva. Nakon odmašćivanja mrežica se suši i na nju se pomoću navlakača ili lađice nanosi emulzija. Naneseni sloj emulzije se suši i osvjetljava uz kopirni predložak, potom razvija i ispire te, naposljetku, suši.

Postupak s filmom i emulzijom također započinje odmašćivanjem mrežice i sušenjem. Nakon toga se film stavlja na površinu kopirne rame pazeći da je strana filma na kojemu se nalazi emulzija okrenut prema gore kako bi se mogao ostvariti kontakt s fotoosjetljivim slojem. Nakon sušenja slijedi osvjetljavanje, razvijanje i završno sušenje.

Postupak s kapilarnim filmom se ne razlikuje u odnosu na prethodne dvije metode u prvom koraku. Dakle, mrežica se odmašćuje, ali nakon toga se nanosi sredstvo za vlaženje kako bi se osigurao siguran prijenos kapilarnog filma. Kapilarni film se pažljivo nanosi na još uvijek vlažnu mrežicu, a potom se suši. Nakon sušenja skida se poliesterska podložna folija i provodi se osvjetljavanje, nakon toga razvijanje i sušenje.

2.6.2. CtP postupci

CtP ili „Computer to Plate“ tehnologija odnosi se na proces koji se koristi u grafičkoj industriji za prijenos digitalnih slika ili umjetničkih djela izravno s računala na tiskovnu formu. Revolucionirao je konvencionalnu metodu izrade formi, koja je uključivala upotrebu filmova i proces kopiranja, a samim time i više koraka u reprodukcijском процесу.

Prednosti CtP tehnologije uključuju poboljšanu točnost, brže vrijeme obrade, veću kvalitetu otiska i uštedu troškova. Uklanjanjem međukoraka temeljenih na filmu, CtP tehnologija smanjuje šanse za pogreške ili degradaciju slike, što rezultira oštrijim i kvalitetnijim otiscima. Uz to, digitalni tijek rada omogućuje brže provjere kvalitete i prilagodbe, omogućujući učinkovitu proizvodnju i smanjujući rasipanje materijala.

CtP postupci za izradu tiskovne forme za propusni tisak još se nazivaju i CtS ili „Computer to Screen“ postupci. CtS postupci su isključivo direktni postupci i mogu se podijeliti na [5]:

- Postupak s ink-jet sustavom
- Izravni ispis UV zračenjem
- Postupak termalne ablacije pomoću LAMS maske
- Suhi termalni postupak

Kod postupka s ink-jet sustavom, sito je oslojeno s fotoosjetljivim slojem te se ink-jet tehnologijom formira maska kao zamjena za film. Nakon što je maska aplicirana, sito se osvjetljava u kopirnoj rami pri čemu osvjetljeni dijelovi fotoosjetljivog sloja postaju netopivi. Dijelovi koji su bili ispod maske se ispiru te se forma suši, nakon čega je spremna za tisak.

Za izradu tiskovne forme UV zračenjem koristi se CtP uređaj koji za osvjetljavanje koristi UV laser. Forma se izrađuje tako što se na sito nanosi fotoosjetljivi sloj te se nakon sušenja ispisuje u CtP uređaju pri čemu laser osvjetljava područja slobodnih površina, te ona postaju netopiva [5]. Nakon osvjetljavanja, topivi dijelovi sloja se uklanjaju razvijanjem i tiskovna forma se suši.

Postupak termalne ablacije pomoću LAMS maske uključuje dvoslojnu mrežicu koja se nalazi u roli i na njoj je već predoslojen fotoosjetljivi materijal na bazi polimera i LAMS maska na bazi grafita [5]. Dijelovi maske se uklanjaju u CtP uređaju postupkom termalne ablacije pri čemu se ablacijske čestice uklanjaju usisavanjem. Potom se provodi osvjetljavanje UV zračenjem kako bi površine fotoosjetljivog sloja na kojima je LAMS maska bila uklonjena postale netopive. Razvijanjem se uklanjaju topivi dijelovi fotoosjetljivog sloja i forma se suši.

Suhi termalni postupak dostupan je u dva principa i proces izrade tiskovne forme je jednofazan. Suhim termalnim postupkom motiv nastaje na mrežici tako što se tiskovni elementi izrađuju termalnom ablacijom, odnosno, IR laser osvjetljava područja tiskovnih elemenata tijekom čega se ablacijske čestice termalnog sloja uklanjaju usisavanjem. Prvi princip zahtjeva termalni sloj koji je već predoslojen na mrežici i nalazi se u obliku role. Takva mrežica se postavlja u CtP uređaj gdje se izvodi termalna ablacija te se nakon nje mrežica postavlja na okvir. Drugi princip također zahtjeva predoslojen termalni sloj na mrežici, ali se mrežica prvo napinje na okvir, a tek onda ispisuje u CtP uređaju termalnom ablacijom [5].

2.7. Tiskovne podloge u propusnom tisku

Sitotisak je prikladan za velik raspon različitih podloga kao što su staklo, tekstil, plastika, papir, karton, keramika i metal zbog svoje svestranosti i prilagodljivosti. Primjena sitotiska je toliko široka da se, zahvaljujući debljini nanosa boje, može koristiti za tiskanje elektroničkih komponenti, automobilskih dijelova, ali i za tisak boja sa specijalnim efektima [3].

Sitotisak se može prilagoditi površinama s neravnim ili teksturiranim karakteristikama. Debljina i fleksibilnost mrežice sita omogućuju prolaz boje i prilagođavanje nepravilnostima na površini, što rezultira relativno dosljednim otiskom. Također, sitotisak je lako skalabilan, veličine sita mogu jako varirati, što ga čini prikladnim i za malu i za veliku proizvodnju. Može se učinkovito nositi s poslovima tiskanja velike količine, što ga čini isplativim izborom za mnoge industrije, uključujući modu, elektroindustriju, oglašavanje, ambalažu, umjetnost, automobilsku i grafičku industriju.

Sitotisak se intenzivno koristi na različitim vrstama tkanina, uključujući pamuk, poliester, svilu, najlon i još mnogo toga. Majice kratkih rukava, majice s kapuljačom, velike torbe i drugi tekstilni proizvodi obično se tiskaju sitotiskom. Nadalje, može se tiskati na različitim vrstama i gramaturama papira, kao što su nepremazani papiri, umjetnički obostrano premazani papiri, kromokartoni, kartoni i ljepenka [4]. Međutim, debljina i tekstura papira mogu utjecati na kvalitetu otiska. Pored toga, važno je da su papiri i kartoni u kontroliranom okruženju koje podrazumijeva optimalnu temperaturu i vlagu zraka.

Sitotisak se može primijeniti na drvene površine, kao što su šperploča, iverica ili gotove drvene ploče. Često se koristi za izradu znakova, plakata i ukrasnih predmeta. Moguće je otisnuti i metalne površine poput aluminijske, čelika ili mjedi, a obično se koristi za tisak na limenke, posude, znakove i druge metalne proizvode [6].

Iako nije tako uobičajeno kao druge površine, sitotisak se može izvesti na staklu. Često se koristi za izradu umjetnina, ukrasnih staklenih ploča i staklenog posuđa. Osim stakla, prikladne su neke vrste plastičnih površina, poput akrila, polikarbonata i PVC-a [7]. Koristi se za tisak na plastičnim proizvodima kao što su boce, spremnici i promotivni artikli.

Sitotisak se može izvoditi na keramičkim površinama, poput keramike i pločica na kojima omogućava komplicirane dizajne i uzorke. Također, može se primijeniti na druge površine poput kože, platna i nekih vrsta sintetičkih materijala, ovisno o njihovoj kompatibilnosti s bojama i postupkom sitotiska.

Sitotisak se može znatno razlikovati ovisno na kojoj se tiskovnoj podlozi tiska. Naime, neke površine mogu imati ograničenja koja mogu utjecati na proces sitotiska i mogu zahtijevati posebne pripreme prije tiska. Na primjer, vrlo porozni materijali kao što je nezapečaćeno drvo ili određene tkanine mogu više upiti boju, što dovodi do manje živih boja ili „krvarenja“. Nepravilne ili neravne površine mogu predstavljati izazov u postizanju dosljedne pokrivenosti boje. Zato će tkaninu možda trebati prethodno oprati kako bi se uklonila sva ljepila ili kemikalije koje bi mogle utjecati na prijanjanje boje. Drvene površine mogu zahtijevati brušenje ili temeljni premaz kako bi se stvorila glađa površina za tiskanje [8]. Neke površine također mogu zahtijevati prethodnu obradu posebnim premazima ili „primerima“ za poboljšanje prihvaćanja i trajnosti boje.

2.8. Tiskarske boje za propusni tisak

Budući da je sitotisak jedna od najsvestranijih tehnika tiska, posjeduje najširu paletu različitih vrsta boja. Boje i njihova priprema za sitotisak razlikuju se ovisno o svojstvima materijala na koji se otiskuju. Postoje boje koje suše mehanizmom oksipolimerizacije i baza im je načinjena od laneno-uljnih veziva i smola, dok druge boje suše isparavanjem otapala, pri čemu se odabir otapala i smole prilagođava karakteristikama tiskovne podloge [9]. Tehnika sitotiska omogućuje postizanje posebnih efekata s debelim nanosima boja, pogotovo kod svjetlećih i metalnih boja.

Za sitotisak se boje pripremaju neposredno prije tiska, a odabir jednokomponentnih ili dvokomponentnih boja ovisi o upojnosti podloge [9]. Jednokomponentne boje suše penetracijom, hlapljenjem i oksipolimerizacijom pa se koriste za upojne podloge, dok se za neupojne podloge koriste brzосуšeće dvokomponentne boje. Sušenje boja može potrajati

nekoliko dana na sobnoj temperaturi, ali se dodavanjem topline skraćuje vrijeme sušenja i poboljšava otpornost.

Sitotiskarske boje moraju zadovoljiti određene kriterije, kao što su viskoznost i pokritnost, te moraju imati odgovarajuće svojstvo otapala da ne hlape prebrzo, ali i da ne oštete gumu rakela [9]. Ove boje se primjenjuju na različite podloge poput metala, stakla i keramike, pružajući visoku otpornost na otapala, kiseline i lužine. Viskoznost boje utječe na prolazak kroz tiskovne elemente i debljinu nanosa, dok fleksibilnost filma boje sprječava sljepljivanje otisnutih araka.

Prilikom otiskivanja na tekstil koriste se specijalno prilagođene tekstilne boje, poput boja na bazi vode i plastisol boja. Plastisol boje su popularne u industriji tiskanja odjeće zbog svoje jednostavnosti za tisak, visoke neprozirnosti i odličnog prijanjanja na tekstil. Plastisol boje se sastoje od PVC smole i plastifikatora te se ne suše na situ i zahtijevaju temperaturu od 143-166 °C kako bi se stvrdnuli. S druge strane, boje na bazi vode pružaju tanke i fleksibilne slojeve boje na tekstilu, otporne na pranje. Iako se suše na temperaturi od 160 °C, ove boje imaju ekološku prednost zbog manje upotrebe kemikalija. Sitotisak se koristi i za primjenu drugih procesa poput nanošenja laka ili fluorescentnih boja za posebne efekte. Izbor i priprema boja u sitotisku ovise o tiskovnoj podlozi i situ [9].

2.9. Kromogene boje

Kromogene boje pripadaju skupini boja za posebne namjene koje podliježu kemijskoj promjeni kada su izložene određenim uvjetima ili podražajima, što rezultira vidljivom promjenom obojenja. Ove se boje često koriste u različitim primjenama, kao što su sigurnosni tisak, dizajnerska rješenja i za tisak pametne ambalaže.

Promjena obojenja u kromogenim bojama potaknuta je čimbenicima kao što su toplina, svjetlost, pritisak ili kemijske reakcije. Na primjer, neke kromogene boje mogu biti dizajnirane da mijenjaju boju kada su izložene točno određenim valnim duljinama spektra elektromagnetskog zračenja, to ih čini korisnima u svrhe provjere autentičnosti. Druge boje

moгу reagirati na promjene temperature, tlaka ili vlažnosti, pružajući vizualne pokazatelje određenih uvjeta u okruženju. Stoga se kromogene boje mogu podijeliti na [10]:

- Fotokromne boje
- Termokromne boje
- Biokromne boje
- Elektrokromne boje
- Piezokromne boje
- Halokromne boje

Osim po uzroku promjene obojenja, kromogene boje mogu se dijeliti po trajnosti. Postoje reverzibilne boje koje mijenjaju ton boje za vrijeme trajanja uzroka promjene, te ireverzibilne boje koje zadržavaju promijenjeni ton boje i nakon prestanka djelovanja uzroka promjene. Na tržištu se mogu naći različite kombinacije ovih podjela.

Boje koje pripadaju skupini za posebne namjene obično se sastoje od spojeva koji su ugrađeni u odgovarajući medij, kao što je otapalo, vezivo ili polimer. Kada se ispuni uvjet pokretanja, spojevi koji stvaraju boju prolaze kroz kemijsku reakciju ili preraspodjelu, što rezultira jasnom promjenom boje koja se može lako otkriti i identificirati.

Za primjenu u tiskarskim bojama, kromogene materijale treba zaštititi mikrokapsulama koje su veće od konvencionalnih pigmenata u tiskarskim bojama. Mikrokapsule nisu potpuno inertne i netopive, što utječe na trajnost boje i otiska. Tehnika sitotiska je preporučljiva za većinu kromogenih boja zbog veličine mikrokapsula i debljine nanosa boje, što omogućava dobru pokrivenost površine i jači efekt kromogenih boja.

Kromogene boje se mogu koristiti u različitim aplikacijama kao što su indikatori vremena i temperature, svježine proizvoda te u kombinaciji s RFID tehnologijom za izradu kompleksnijih etiketa. Također se koriste u pametnoj ambalaži, tisku sigurnosnih elemenata, promotivne svrhe i dizajnerska rješenja. Kromogene tiskarske boje se nazivaju bojama za posebne namjene ili funkcionalnim tiskarskim bojama, jer svaka vrsta ima ciljanu funkcionalnost. Način prenošenja informacija kod ovih boja ovisi o vrsti uzroka promjene boje, pri čemu posebni pigmenti omogućavaju specijalne efekte.

Kromogene boje nude svestranost u dizajnu i primjeni, omogućujući stvaranje prilagođenih rješenja za promjenu boje prilagođenih specifičnim zahtjevima. Primjenjuju se u područjima gdje je vizualna provjera ili praćenje uvjeta ključno, pružajući dodatni sloj sigurnosti i funkcionalnosti.

2.9.1. Fotokromne boje

Fotokromne tiskarske boje mijenjaju obojenje pod utjecajem dnevnog svjetla. Ove boje su obično neobojene u neaktiviranom stanju, ali mogu biti i u drugim bojama. Izlaganjem dnevnom svjetlu dolazi do promjene obojenja. Većina promjena boje fotokromnih boja je reverzibilna, a koriste se u pametnim naljepnicama, ambalažnim materijalima, indikatorima i displejima. Autentičnost dokumenata ili proizvoda s fotokromnim bojama može se jednostavno provjeriti izlaganjem sunčevoj svjetlosti, UV svjetlu ili jakim umjetnim izvorima svjetla [10].

Fotokromne boje sadrže molekule koje se nazivaju fotokromatski spojevi ili boje. Ovi spojevi imaju sposobnost proći kroz reverzibilnu molekularnu transformaciju kada su izloženi UV svjetlu. Transformacija uključuje promjenu elektronske strukture spoja, što dovodi do pomaka u njegovom apsorpcijskom spektru i rezultira vidljivom promjenom boje. Naime, u prisutnosti UV svjetla, fotokromatski spojevi u boji apsorbiraju energiju i podvrgavaju se strukturnoj preraspodjeli [11]. Takva preraspodjela uzrokuje prijelaz molekula iz bezbojnog ili slabo obojenog stanja u intenzivnije obojeno stanje. Zbog toga boja mijenja obojenje i postaje vidljiva. Fotokromna reakcija je reverzibilna, što znači da kada se ukloni izvor UV svjetla ili se boja zaštiti od izlaganja UV zračenju, molekule se postupno vraćaju u svoje izvorno stanje. Promjena boje je obično privremena i može se ponoviti više puta, ovisno o specifičnom korištenom fotokromatskom spoju i kvaliteti boje.

Kemijski mehanizmi koji leže u pozadini fotokromatskih reakcija mogu varirati ovisno o specifičnom korištenom fotokromatskom spoju. Neki uobičajeni fotokromni spojevi uključuju spiropirane, fulgide i diariletene, od kojih svaki pokazuje jedinstvene karakteristike i svojstva mijenjanja boje [12]. Primjerice, spiropirani obično pokazuju bezbojni ili blijedo

obojeni oblik u odsutnosti UV svjetla. Kada su izloženi UV svjetlu, prolaze kroz strukturnu transformaciju i poprimaju nijanse plave ili crvene [13].

Važno je napomenuti da na točne boje koje proizvode fotokromatski spojevi mogu utjecati čimbenici poput specifičnog kemijskog sastava, molekularne strukture, koncentracije i okoline. Dodatno, neki fotokromatski spojevi mogu pokazivati nekoliko stanja obojenja i prijelazne boje tijekom fotokromatske reakcije, nudeći širok raspon vizualnih efekata.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Metodologija rada

Prije izrade tiskovne forme direktnim postupkom s nanosom emulzije bilo je potrebno odabrati kopirni predložak i očistiti mrežice sa sredstvom za odmašćivanje. Za kopirni predložak odabrani su jednostavni motivi u obliku kvadrata kako bi proces spektrofotometrijskih mjerenja bio olakšan. Zatim su se mrežice linijatura 32 lin/cm i 77 lin/cm očistile sredstvom za odmašćivanje i osušile u sušioniku. Nakon toga su uslijedili priprema i nanošenje fotoosjetljive emulzije pomoću lađice. Emulzija se na mrežice nanosila tri puta, jednom s podložne strane te dva puta s rakelske strane. Kako bi se provjerilo jesu li mrežice i slojevi nanosene emulzije zaista suhi, koristio se uređaj SEFAR Humicheck.



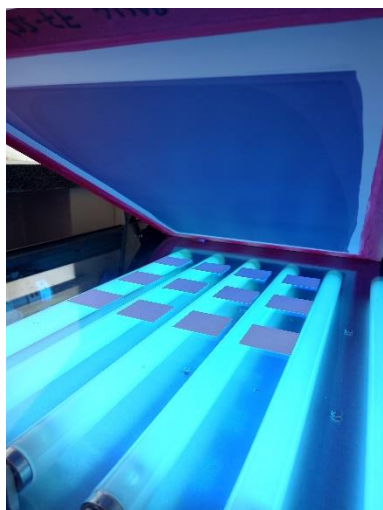
Slika 6 Odmašćivanje mrežice



Slika 7 Oslojavanje mrežice fotoosjetljivom emulzijom

Kada je suhoća bila osigurana, kopirni predložak je bio postavljen na staklo kopirne rame te se na njega postavila mrežica s nanosenom emulzijom pritom pazeći da je podložna strana bila u dodiru s kopirnim predloškom. Nakon pravilnog postavljanja kopirnog predloška, izvelo se osvjetljavanje u trajanju od dvije minute kako bi došlo do fotokemijske reakcije

emulzije. Kada je proces osvjetljavanja bio gotov, provelo se razvijanje tiskovne forme vodom i ispiranje dijelova emulzije koji nisu bili osvjetljeni. Izrađena tiskovna forma se sušila, nakon čega je bila spremna za proces ručnog otiskivanja.



Slika 8 Osvjetljavanje s predloškom



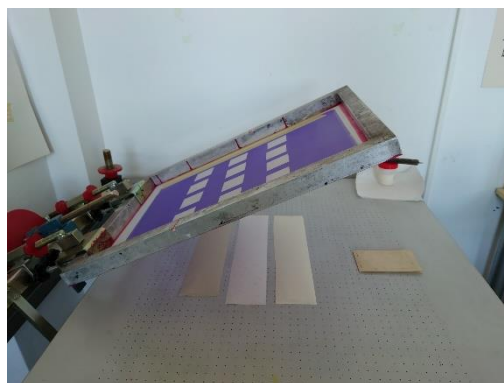
Slika 9 Gotova tiskovna forma

Ručno otiskivanje izvodilo se na sitotiskarskom stroju s ravnim stolom. Tiskovna forma je bila pričvršćena sa držačima te se ispod nje, na stolu, nalazila poravnata tiskovna podloga. Za vrijeme otiskivanja bila je uključena vakuum pumpa stola kako ne bi došlo do pomaka u registru. Na početku procesa otiskivanja, sito se ručno spustilo na stol i na rakelnu stranu se nanosila unaprijed izrađena boja pomoću špatule. Prvo povlačenje rakelom radilo se laganim pritiskom kako bi boja ispunila otvorene očice, a zatim se s dva brza snažna povlačenja rakelom boja protisnula na tiskovnu podlogu te je tako postignut otisak. Otiskivanje se izvodilo s dvije različite tiskovne forme linijatura 32 lin/cm i 77 lin/cm.

Za obje tiskovne forme korištene su kobalt plava i narančasta fotokromna boja koje su prethodno napravljene miješanjem fotokromnih pigmenata s transparentnom bazom za papir. Obje boje bile su korištene u tri koncentracije tako da su im udjeli pigmenata bili 5%, 7.5% i 10%. Za svaku kombinaciju tiskovne forme i boje korištene su po tri različite tiskovne podloge iz alternativnih izvora. Prva tiskovna podloga bila je karton od 250 g/m² s udjelom

kave 5%, druga tiskovna podloga bila je karton od 250 g/m² s udjelom agruma 15% i treća podloga bila je karton od 350 g/m² koji sadrži najmanje 30% suhe trave. Po završetku procesa otiskivanja, otisci su stavljeni na sušenje pri sobnoj temperaturi.

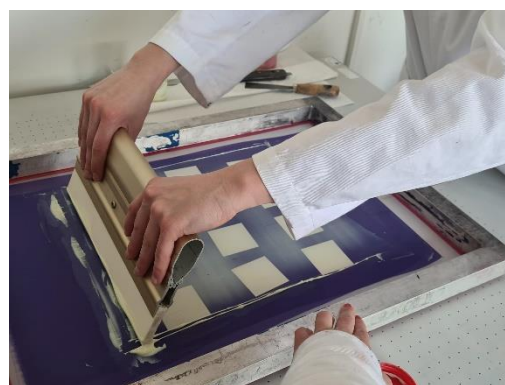
Na osušenim uzorcima provedena su spektrofotometrijska mjerenja i vizualne procjene te su uzorci i tiskovne podloge pogledane pod mikroskopom.



Slika 10 Podešavanje tiskovnih podloga



Slika 11 Otiskivanje: nanesena boja na sito



Slika 12 Otiskivanje: protiskivanje boje raketom

3.2. Korišteni uređaji

3.2.1. Uređaji za izradu tiskovne forme

Uređaj Expos-IT od tvrtke Vastex International.Inc. (Slika 13) korišten je za osvjetljavanje tiskovne forme. Ovaj uređaj ima standardne UV žarulje duljine 71 cm i jačine 40 W. Tiskovna forma se nalazi između gumenog neoprenskog poklopca s gornje i stakla s donje strane pri čemu vakuum pumpa osigurava izvrstan kontakt mrežice i kopirnog predloška. Ovaj uređaj ima digitalni mjerač vremena koji precizno kontrolira osvjetljenje. Ispod uređaja za osvjetljenje integriran je sušionik DRI-VAULT 10 (Slika 13) iste tvrtke. U njemu su se sita sušila nakon odmašćivanja, ispiranja, oslojavanja i razvijanja, a vlažnost fotoosjetljivog sloja mjerila se SEFAR Humicheck (Slika 14) uređajem za mjerenje vlage. Senzor uređaja prislanja se uz fotoosjetljivi sloj i tada svjetleće diode koje su podijeljene u tri sektora boja pokazuju stupanj vlažnosti šablone.

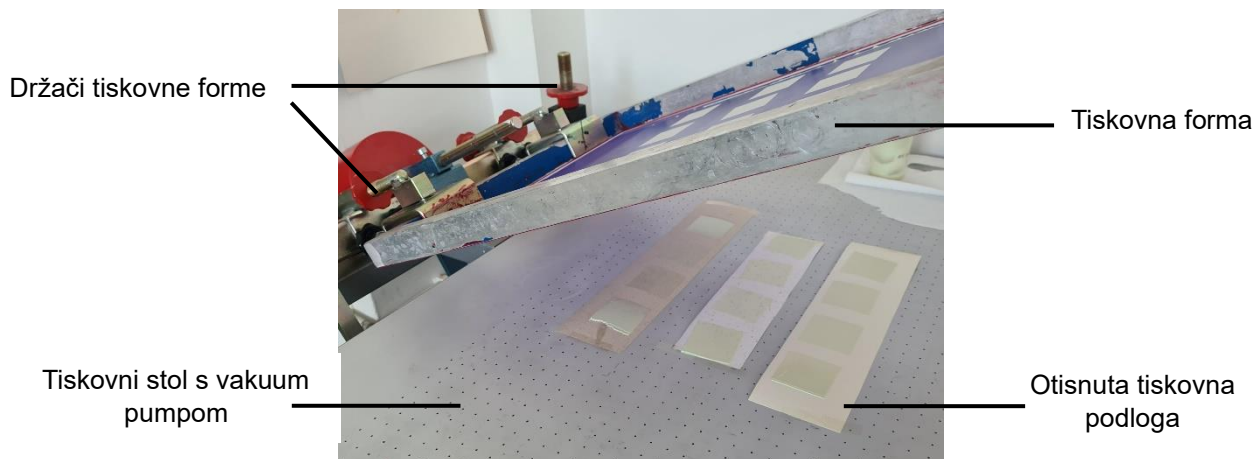


Slika 13 Uređaji za osvjetljavanje Expos-IT i sušenje DRI-VAULT 10, Vastex International.Inc.



Slika 14 SEFAR Humicheck uređaj za mjerenje vlage

Za otiskivanje se koristio stroj za ručno otiskivanje. Stol ovoga stroja u sebi ima vakuum pumpu čiji se ventili otvaraju kada je sito spušteno i time omogućavaju pravilan registar i dobro prijanjanje tiskovne podloge uz mrežicu.



Slika 15 Stroj za ručno otiskivanje

3.2.2. Ostali uređaji

Spektralna refleksija uzoraka mjerena je spektrofotometrom Ocean Optics USB 2000+ s odabranim UV izvorom zračenja DH-2000. To je uređaj koji u sebi ima ugrađenu sferu pa može mjeriti i sjajne premazane uzorke bez da sjaj utječe na boju, no to u ovome slučaju nije bilo potrebno. Uzorci su se mjerili u području od 250 nm do 700 nm kako bi se vidjele promjene refleksije u UV i vidljivom dijelu spektra. Uređaj ima mogućnost konstantnog mjerenja u realnom vremenu, ali i jednokratnog mjerenja što je primjerenije za očitavanje rezultata koji se na ekranu računala prikazuju u obliku spektrofotometrijske krivulje.

Za mjerenje mase baze za fotokromnu boju i fotokromnih pigmenata korištena je analitička vaga (Slika 17). Nadalje, za proučavanje uzoraka tiskovnih podloga korišten je mikroskop Olympus DP72 s digitalnom kamerom koja pruža vjeran prikaz boja i jasne rezultate. Također, razlučivost mikroskopa je 12,8 megapiksela koja se postiže za manje od 2,5 sekunde.



Slika 16 Spektrofotometar Ocean Optics USB 2000+



Slika 17 Analitička vaga



Slika 18 Mikroskop Olympus DP72

3.3. Korišteni materijali

3.3.1. Materijali za izradu tiskovne forme

Kako bi se tiskovne forme za ovaj završni rad izradile, korištene su mrežice istog formata, ali različite linijature. Linijatura prve mrežice iznosila je 32 lin/cm, a druge 77 lin/cm.

Mrežice oba sita bile su napete na metalne okvire, izrađene od poliestera, bile su bijele boje i običnog tipa tkanja.

Budući da su se mrežice prije upotrebe trebale očistiti i odmastiti, za taj zadatak koristilo se sredstvo za odmašćivanje mrežice PREGAN NT 9 od proizvođača KIWO. To sredstvo je pogodno zato što je bezbojno, ph-neutralno i vrlo biorazgradivo. Nakon odmašćivanja, mrežice su se isprale pod mlazom vode i osušile u sušioniku te su bile spremne za oslojavanje fotoosjetljivom emulzijom pomoću lađice ili nanosača.

Fotoosjetljiva emulzija se priređuje netom prije otiskivanja i sastoji se od dvije komponente:

- Diazo-UV-polimerna fotoemulzija (KIWO Azocol Z 133)
- Diazo senzibilizatora (KIWO Diazo NR.23)



Slika 19 Sredstvo za odmašćivanje PREGAN NT 9



Slika 20 Komponente za fotoosjetljivu emulziju (Azocol Z 133, Diazo NR.23)

3.3.2. Materijali za pripremu fotokromnih boja

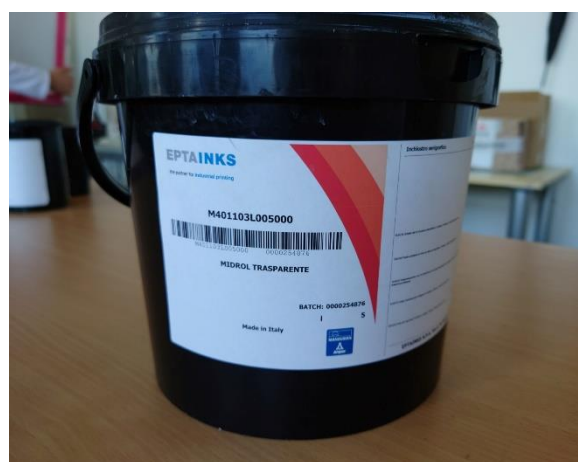
Za pripremu boje korištena su dva tona fotokromnih pigmenata, narančasti i kobalt plavi (Slika 21). Srednja veličina čestica im je od 2 do 5 μm i preporuka je koristiti udio 10% pigmenata za miješanje s bazom boje. Oba pigmenata su u odsutnosti UV zračenja vrlo slabo obojeni, a kada su izloženi UV zračenju ili izravnoj sunčevoj svjetlosti apsorbiraju energiju

zračenja i postaju intenzivno obojeni. Pigmenti su rezervzibilne trajnosti što znači da se prestankom izlaganja podražaju UV zračenja postupno vraćaju u prvobitno stanje.

Budući da su se oba tona boje miješala u tri različite koncentracije, ukupno je bilo izrađeno šest boja za tiskanje, svaka u količini od 50 g. Udjeli pigmenta koji su bili korišteni su: 5%, 7.5% i 10%. Masa odabranih pigmenta se mjerila na analitičkoj vagi te su se fotokromni pigmenti špatulom miješali u prethodno izmjerenu transparentnu bazu EPTAINKS Midrol Transparente (Slika 22). Midrol je na bazi vode, stoga nema miris, brzo se suši, stabilan je i koristi se za papire, kartone i ljepenke.



Slika 21 SFXC fotokromni pigmenti u narančastom i kobalt plavom tonu



Slika 22 EPTAINKS Midrol transparentna baza za boju



Slika 23 Izrađene fotokromne boje

3.3.3. Tiskovne podloge

Za otiskivanje su se koristile tri podloge iz alternativnih izvora:

- Karton od 250 g/m² s udjelom kave 5% (Kaffee Papier Recycelt)
- Karton od 250 g/m² s udjelom agruma 15% (Crush Citrus)
- Karton od 350 g/m² s udjelom trave 30% (SH Recycling Grass)

Tiskovna podloga s udjelom kave izrađena je od 100% recikliranih vlakana s 5% prerađenih tostiranih ostataka iz proizvodnje kave. Površina je zanimljivog izgleda i bez premaza što ga čini idealnim za izradu ambalaže i visokokvalitetan tisak u tehnikama digitalnog tiska, ofsetu, visokom tisku i sitotisku.

Tiskovna podloga s udjelom agruma je , zapravo, dio „Crush“ kolekcije koja je ekološki prihvatljiva kolekcija nepremazanih, obojenih prirodnih papira i kartona. Ove podloge su izrađene s 15% otpada iz agroindustrija i 40% recikliranih vlakana. 15% otpada agroindustrija tvore kukuruz, agrumi, kivi, maslina, badem, lješnjak, lavanda, trešnja, kava i kakao koji daju poseban izgled i obojenje svakoj od tih podloga. Površina ovih tiskovnih podloga je nepremazana i hrapava pa je pogodna za tisak tehnikama digitalnog tiska, ofsetu, visokom tisku i sitotisku.

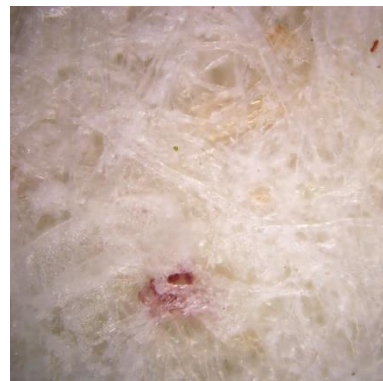
Tiskovna podloga s udjelom trave osušene na suncu površinski je obrađena te se može tiskati u ofsetnom tisku. Površina mu je hrapava i nepremazana pa je izvrstan izbor i za kartonsku ambalažu.



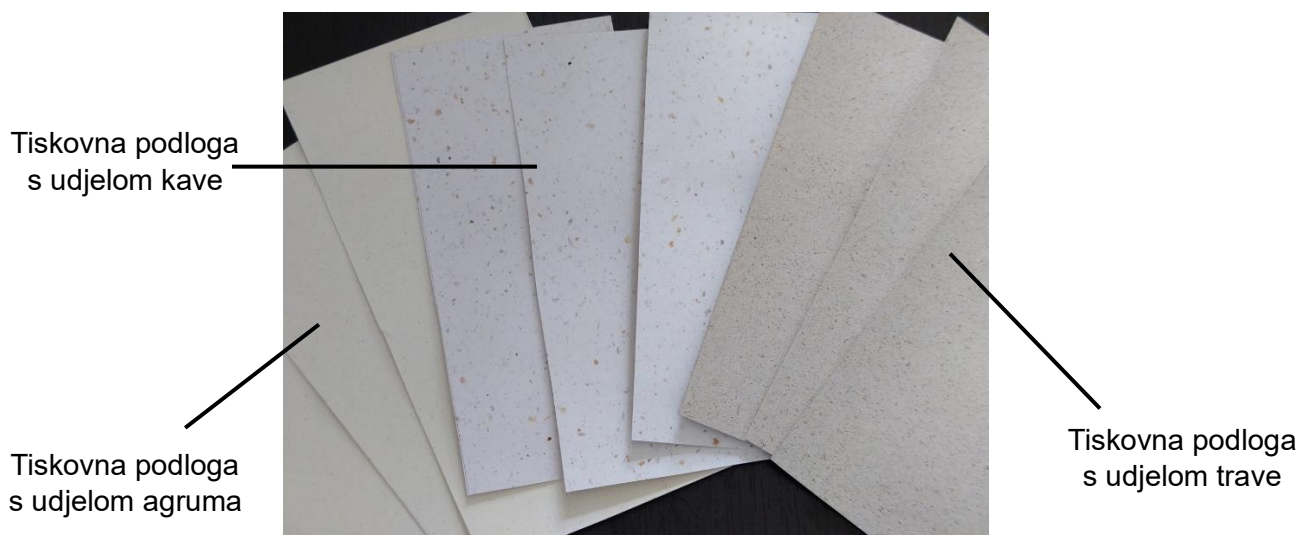
Slika 24 Tiskovna podloga s udjelom trave pod povećanjem 20 puta



Slika 25 Tiskovna podloga s udjelom kave pod povećanjem 20 puta



Slika 26 Tiskovna podloga s udjelom agruma pod povećanjem 20 puta

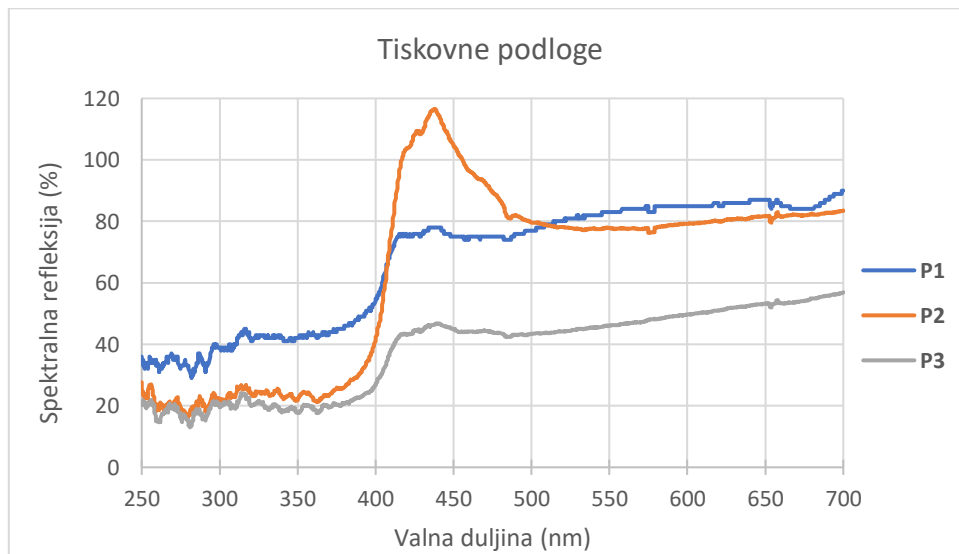


Slika 27 Tiskovne podloge tvrtke Europapier Adria d.o.o.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Spektrofotometrijska analiza tiskovnih podloga

Prije spektrofotometrijske analize otisaka bilo je potrebno napraviti spektrofotometrijsku analizu korištenih tiskovnih podloga kako bi se uočio mogući utjecaj različitog sastava tiskovnih podloga na otiske.



Slika 28 Spektralna refleksija korištenih tiskovnih podloga (P1 - s udjelom agruma, P2 - s udjelom kave, P3 - s udjelom suhe trave) izloženih UV zračenju

Slika 28 prikazuje spektralnu refleksiju korištenih podloga izloženih UV zračenju pri čemu se vidi kako podloga s udjelom 5% kave prelazi refleksiju od 100%. Krivulja te podloge se od 250 do 400 nm ponaša slično kao krivulja podloge s udjelom suhe trave, međutim, onda je vidljiv veliki skok u području od 400 do 500 nm, nakon čega se krivulja približava vrijednostima krivulje za tiskovnu podlogu s udjelom agruma. Može se pretpostaviti da se taj veliki skok događa zbog dodatka optičkih bjelila u sastav ove tiskovne podloge koja tada ima snažnu refleksiju u području plave boje vidljivog dijela spektra. Nadalje, vidljivo je kako tiskovne podloge reflektiraju sve valne duljine vidljivog dijela spektra, ali se razlikuju u postocima refleksije. Pa tako tiskovna podloga s udjelom suhe trave reflektira najmanju količinu vidljive svjetlosti, oko 50%, dok su preostale dvije podloge izjednačene, ako se zanemari skok, te one reflektiraju oko 80-85% vidljive svjetlosti. Maksimum krivulje za

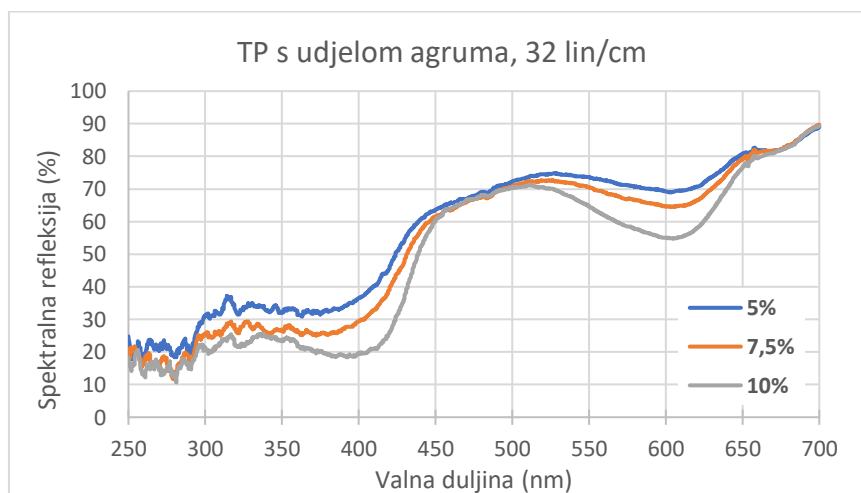
tiskovnu podlogu s udjelom trave iznosi 57%, za podlogu s udjelom kave 116% i za podlogu s udjelom agruma 90%.

4.2. Spektrofotometrijska analiza otisaka

4.2.1. Spektralna refleksija uzoraka kobalt plave boje

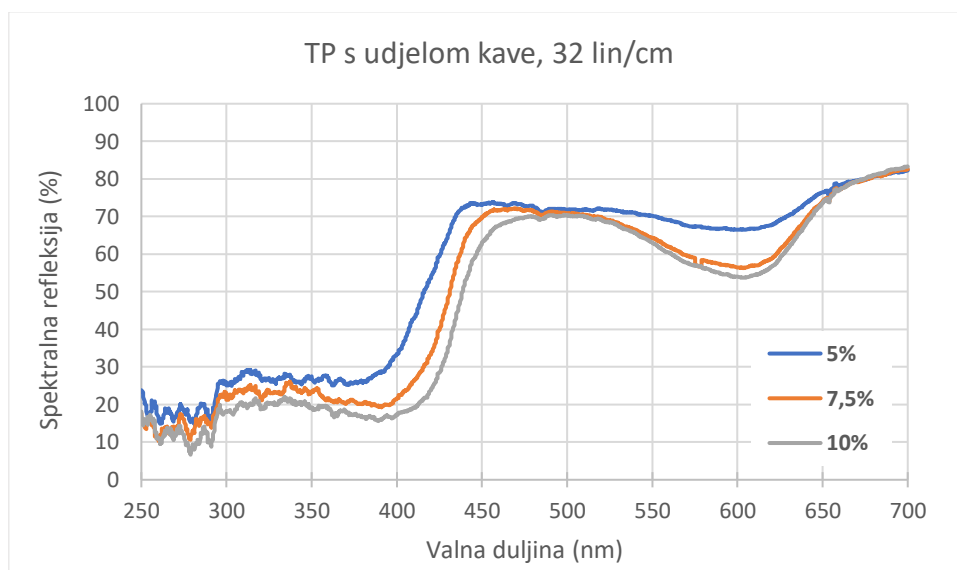
Budući da su se za otiskivanje koristile tri različite koncentracije fotokromnih pigmenata i tri različite podloge te se otiskivanje provodilo na dvije tiskovne forme različitih linijatura, dobiveno je 18 skupina uzoraka (po 4 otisnuta kvadratića u svakoj skupini) za otiske kobalt plave boje i isto toliko za narančastu boju. Iz svake skupine uzoraka uzeti su najbolje otisnuti uzorci, tj. uzorci jednolikog nanosa i pravilnih rubova, i na njima je provedeno spektrofotometrijsko mjerenje te su se iz njihovih srednjih vrijednosti nacrtale spektrofotometrijske krivulje.

Slike 29, 30 i 31 prikazuju rezultate spektrofotometrijskih mjerenja provedenih na otiscima dobivenim s tiskovnom formom linijature 32 lin/cm. Svaka od navedenih slika prikazuje ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji, a slike su poredane po vrsti tiskovne podloge na kojoj su otisci izrađeni.



Slika 29 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma 15%

Na *Slici 29* može se primijetiti kako se maksimalne vrijednosti krivulja nalaze na valnoj duljini od 700 nm. Krivulje za sve tri koncentracije izgledaju izjednačeno u područjima od 450 do 500 nm i od 650 do 700 nm. Osim tih područja, krivulje spektralnih refleksija za korištene koncentracije fotokromnih pigmenata vidno se razlikuju. Krivulja spektralne refleksije za otisak bojom s udjelom 10% fotokromnog pigmenta, u usporedbi s ostale dvije krivulje, ima najmanje vrijednosti u područjima od 250 do 450 nm (20% spektralne refleksije) i od 500 do 650 nm (55% spektralne refleksije). To su područja UV dijela spektra te ljubičastog, zelenog, žutog, narančastog i crvenog dijela vidljivog spektra. Stoga se može zaključiti kako otisak bojom s 10% udjela kobalt plavog fotokromnog pigmenta najviše apsorbira sve boje svjetlosti osim plave, ima najizraženiju refleksiju plavog i cijan dijela spektra, te zato ima najintenzivnije plavo obojenje. Nakon njega slijedi otisak bojom sa 7.5% udjela fotokromnog pigmenta, njegova spektralna refleksija plavog i cijan dijela spektra je manje izražena i, naposljetku, otisak bojom s 5% udjelom fotokromnog pigmenta koji uz plavi dio najviše reflektira ostatak vidljivog dijela spektra.

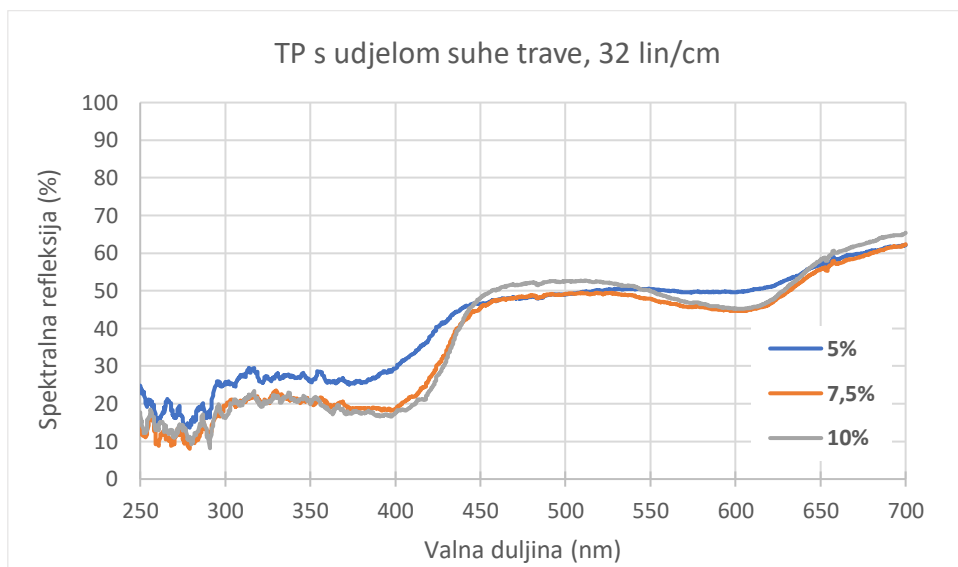


Slika 30 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom kave 5%

U slučaju tiskovne podloge s udjelom kave gdje su prisutna optička bjelila, krivulje spektralne refleksije izgledaju malo drugačije. Područje između 430 i 470 nm pokazuje jaču refleksiju u odnosu na podlogu s udjelom agruma. Međutim, raspodjela spektralnih refleksija ovisno o koncentraciji fotokromnih pigmenata ostaje ista. Najveću spektralnu refleksiju plavog dijela vidljivog spektra pokazuje boja s najmanjim udjelom fotokromnog pigmenta (5%), ali pokazuje i najmanju apsorpciju ostalih dijelova vidljivog zračenja.

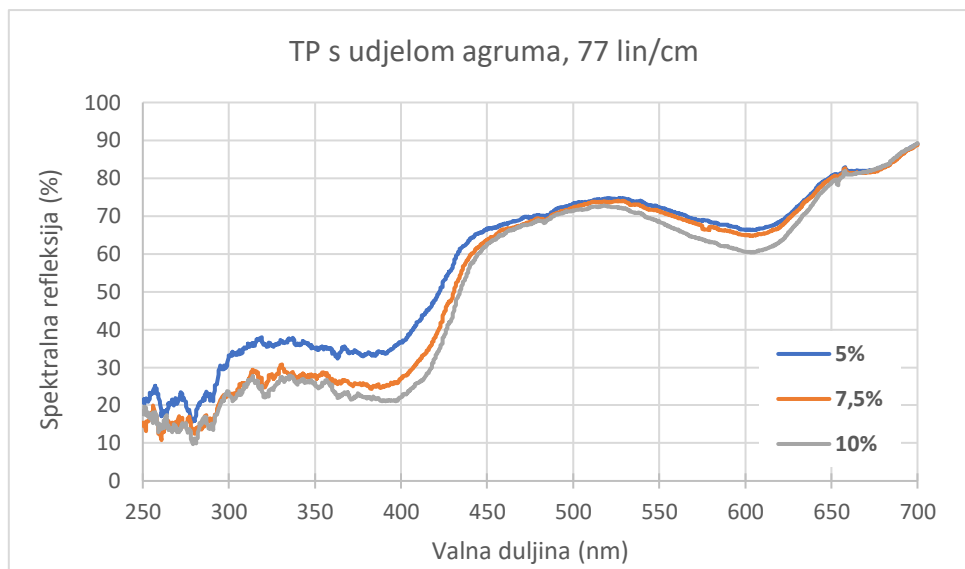
Također, manje su razlike u refleksiji između boja s 10% i 7.5% udjelom fotokromnih pigmenata u odnosu na krivulju za boju s 5% udjelom istog pigmenta. Važno je naglasiti da se maksimum spektralne refleksije svih triju boja u plavom dijelu spektra, kao i na prethodnoj podlozi, nalazi na 70% i niži je od maksimuma krivulja što pokazuje utjecaj podloge.

Na *Slici 31* mogu se primijetiti slični rezultati, no najviša koncentracija, u ovome slučaju, ima najveću spektralnu refleksiju. Ona u plavom dijelu spektra iznosi 50% što je značajno niže od otisaka na prethodne dvije podloge.



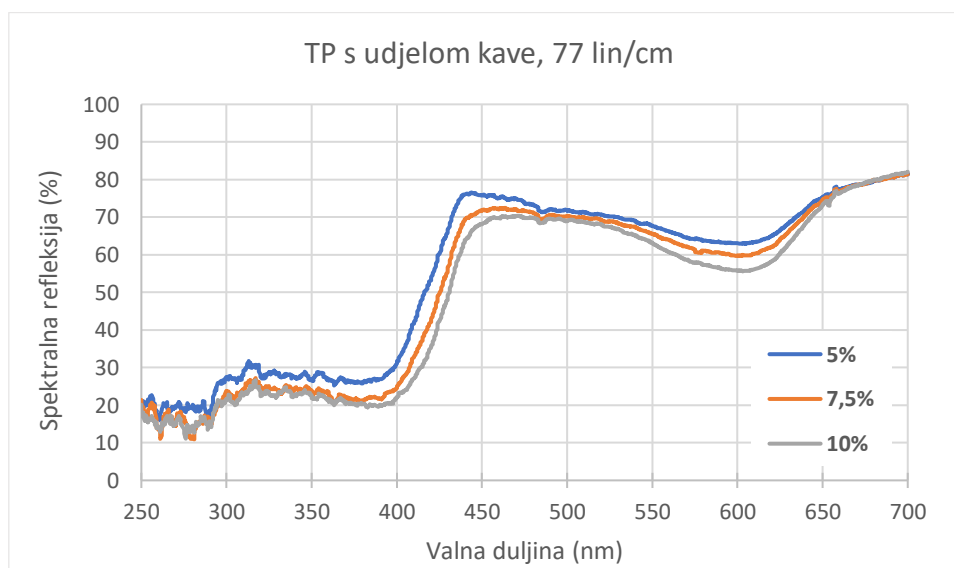
Slika 31 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom suhe trave 30%

Slike 32, 33 i 34 prikazuju ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta s time da su otisci rađeni na situ linijature 77 lin/cm.

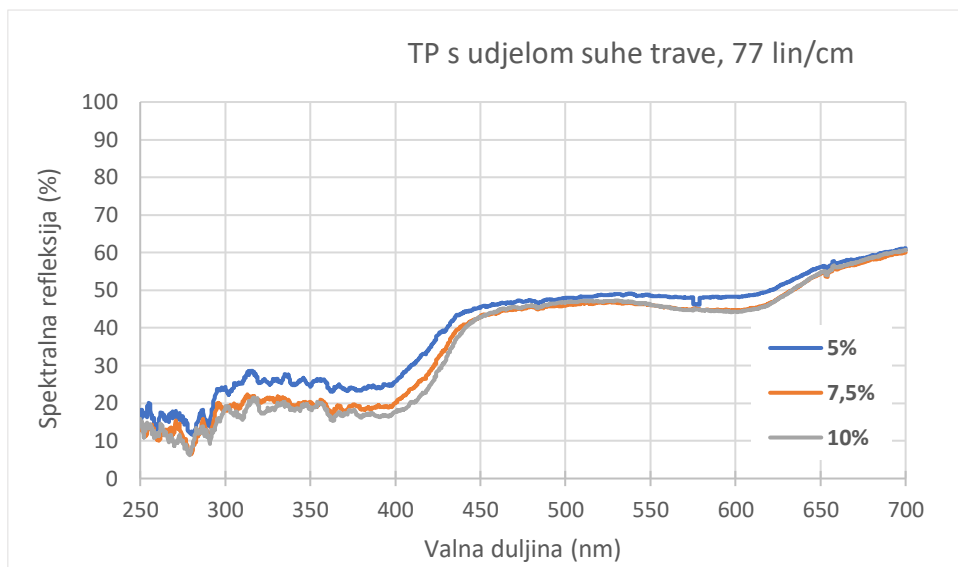


Slika 32 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma 15%

Vidljivo je kako koncentracija fotokromnog pigmenta u boji utječe na jednak način na spektralnu refleksiju ovih otisaka kao i kod sita linijature 32 lin/cm. Dakle, najveća koncentracija ima najmanju spektralnu refleksiju, dok najmanja koncentracija ima najveću spektralnu refleksiju u plavom dijelu vidljivog spektra.



Slika 33 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom kave 5%



Slika 34 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom suhe trave 30%

Spektralna refleksija se u ovisnosti o linijaturi tiskovne forme vrlo malo mijenja u nekim slučajevima, no razlike su vidljive. Naime, spektralna refleksija je pri jednakim koncentracijama veća kada se za izradu otisaka koristilo sito linijature 77 lin/cm.

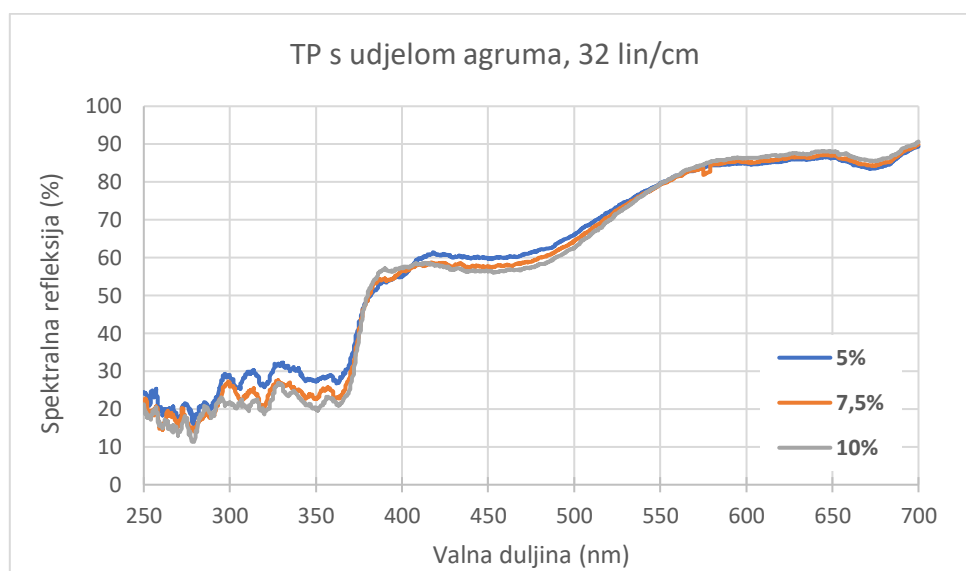
Nadalje, dijagrami pokazuju ovisnost spektralne refleksije o korištenim tiskovnim podlogama. Postotak spektralne refleksije ovisi o sastavu tiskovne podloge, a to je najjasnije prikazano na otiscima izrađenim na tiskovnim podlogama s udjelom suhe trave 30%. Spektralna refleksija otisaka na toj podlozi ima najmanje vrijednosti kao i spektralna refleksija same podloge. Također, utjecaj tiskovne podloge na spektralnu refleksiju uočljiv je na primjeru tiskovne podloge s udjelom kave 5% gdje se vidi posljedica prodiranja refleksije optičkih bjelila. Spektralne refleksije otisaka na toj tiskovnoj podlozi imaju šire područje plavog dijela vidljivog spektra u odnosu na ostale tiskovne podloge.

Dodatno, sve krivulje spektralne emisije kobalt plavih fotokromnih otisaka imaju maksimum u iznosu valne duljine od 700 nm koja se nalazi u crvenom dijelu vidljivog spektra što pruža uvid u veliki značaj tiskovne podloge. Maximum spektralne refleksije otiska na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma je na 90%, s udjelom kave na 80% i s udjelom suhe trave na 60%.

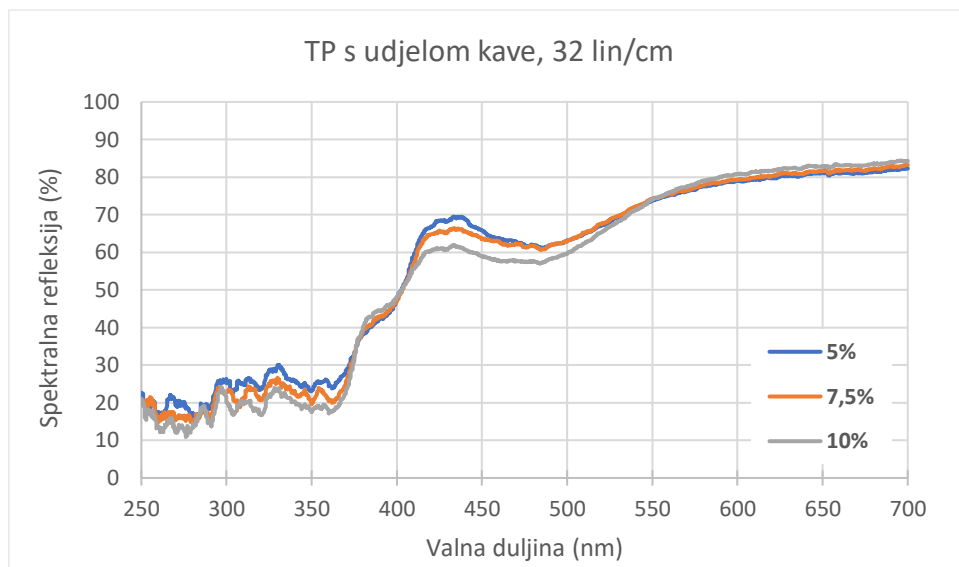
4.2.2. Spektralna refleksija uzoraka narančaste boje

Slike 35, 36 i 37 prikazuju rezultate spektrofotometrijskih mjerenja provedenih na otiscima dobivenim s tiskovnom formom linijature 32 lin/cm. Svaka od navedenih slika prikazuje ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji narančastog fotokromnog pigmenta u boji, a slike su poredane po vrsti tiskovne podloge na kojoj su otisci izrađeni.

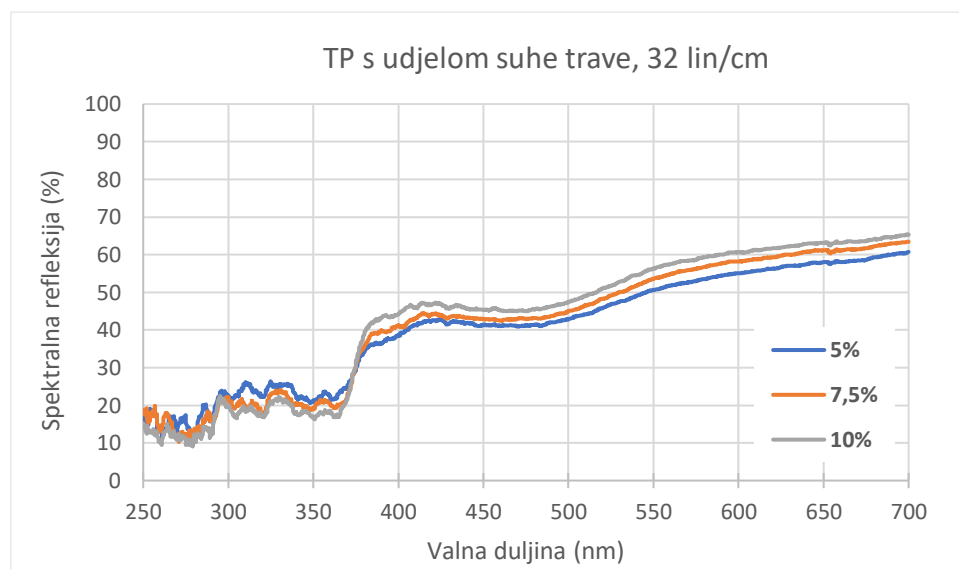
Vidljiva je spektralna refleksija od 370 nm pa do 700 nm, tj. uzorci reflektiraju u cijelom vidljivom dijelu spektra, ponajviše u području od 560 do 700 nm što je raspon valnih duljina od žute do crvene boje.



Slika 35 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma 15%



Slika 36 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom kave 5%



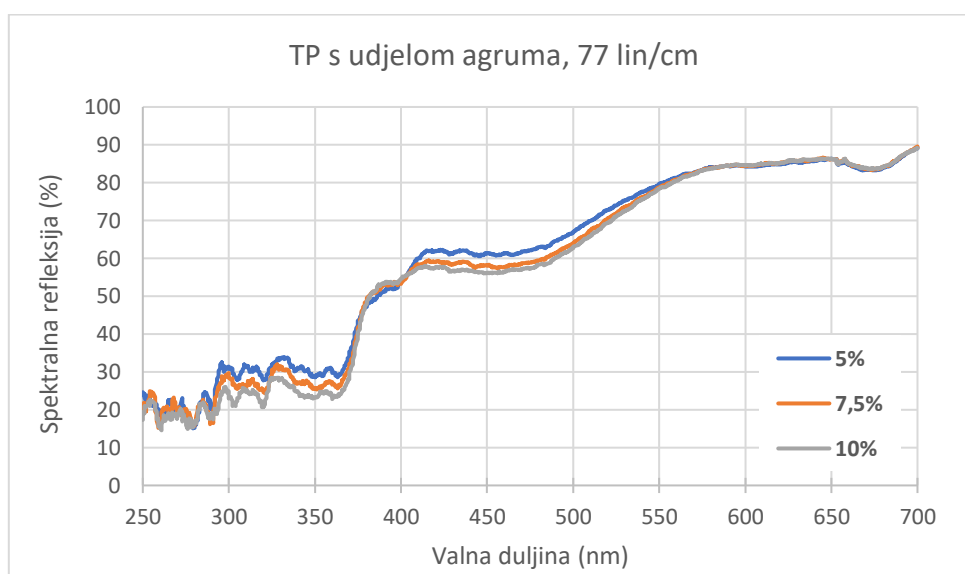
Slika 37 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom suhe trave 30%

U odnosu na kobalt plave otiske, razlike u spektralnoj refleksiji ovisno o koncentraciji pigmenta u boji su znatno manje. Najveće razlike u narančastom dijelu spektra uočene su na podlozi s udjelom trave. Na tom dijagramu (*Slika 37*) spektralna refleksija ima najveće

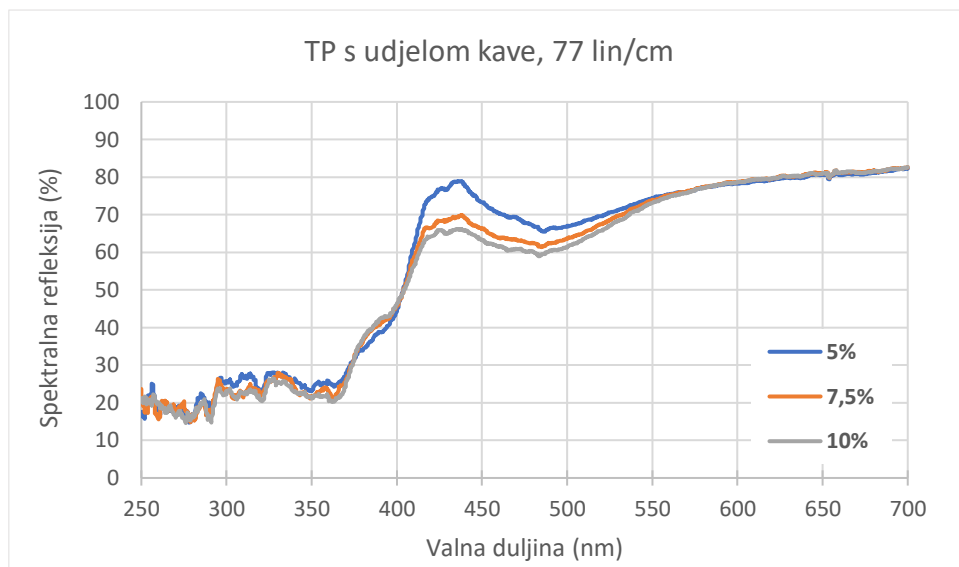
vrijednosti za najveću koncentraciju pigmenta, dok najmanje vrijednosti spektralne refleksije ima najmanja koncentracija pigmenta u boji.

Zanimljivo je uočiti kako na podlogama s udjelom kave i agruma, u područjima do 550 nm najmanju spektralnu refleksiju imaju otisci izrađeni s bojom koja ima najveći udio pigmenta, a najveću spektralnu refleksiju imaju otisci izrađeni s bojom koja ima najmanji udio pigmenta. Međutim, nakon 550 nm podaci su suprotni. Najveće vrijednosti spektralne refleksije imaju otisci boja s najvećim udjelom pigmenta. Razlike u spektralnim refleksijama ovisno o koncentraciji u tom su području gotovo neprimjetne.

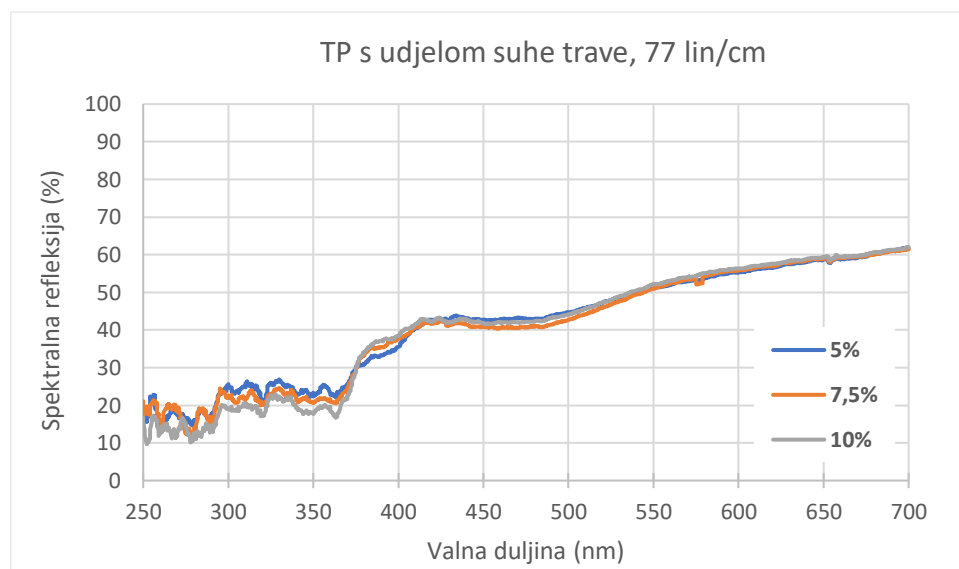
Slike 38, 39 i 40 prikazuju ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji narančastog fotokromnog pigmenta s time da su otisci rađeni na situ linijature 77 lin/cm.



Slika 38 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma 15%



Slika 39 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom kave 5%



Slika 40 Ovisnost spektralne refleksije o koncentraciji fotokromnog pigmenta u boji na tiskovnoj podlozi s udjelom suhe trave 30%

Krivulje spektralne refleksije otisaka izrađenih tiskovnom formom linijature 77 lin/cm ne razlikuju se oblikom od krivulja za otiske izrađene tiskovnom formom linijature 32 lin/cm. Također, utjecaj koncentracije na spektralnu refleksiju je jednak, osim na području od 550 do 700 nm gdje su razlike između krivulja više ne vide.

Spektralna refleksija se u ovisnosti o linijaturi tiskovne forme mijenja gotovo pa neznatno. Naime, spektralna refleksija je pri jednakim koncentracijama veća kada se za izradu otisaka koristilo sito linijature 77 lin/cm.

Nadalje, dijagrami, kao i kod kobalt plave boje, prikazuju ovisnost spektralne refleksije o korištenim podlogama. Najmanje vrijednosti spektralne refleksije izmjerene su na otiscima izraženim na tiskovnoj podlozi s udjelom trave 30%. Maksimum spektralne refleksije otiska na toj podlozi iznosi oko 60%. Maksimum spektralne refleksije otiska na podlozi s udjelom kave je oko 80% i s udjelom agruma je na 90%. Vrijednosti svih maksimuma nalaze se na valnoj duljini od 700 nm.

Također, na dijagramima otisaka na tiskovnoj podlozi s udjelom kave, može se uočiti porast krivulje u plavom dijelu spektra što ukazuje na prisutnost bjelila koja se očituju i na izgled otiska.

4.3. Vizualna analiza otisaka

Vizualna procjena otisaka izvodila se u zatvorenoj prostoriji pod dnevnim svjetlom, i na otvorenom gdje su otisci bili izloženi direktnoj sunčevoj svjetlosti.



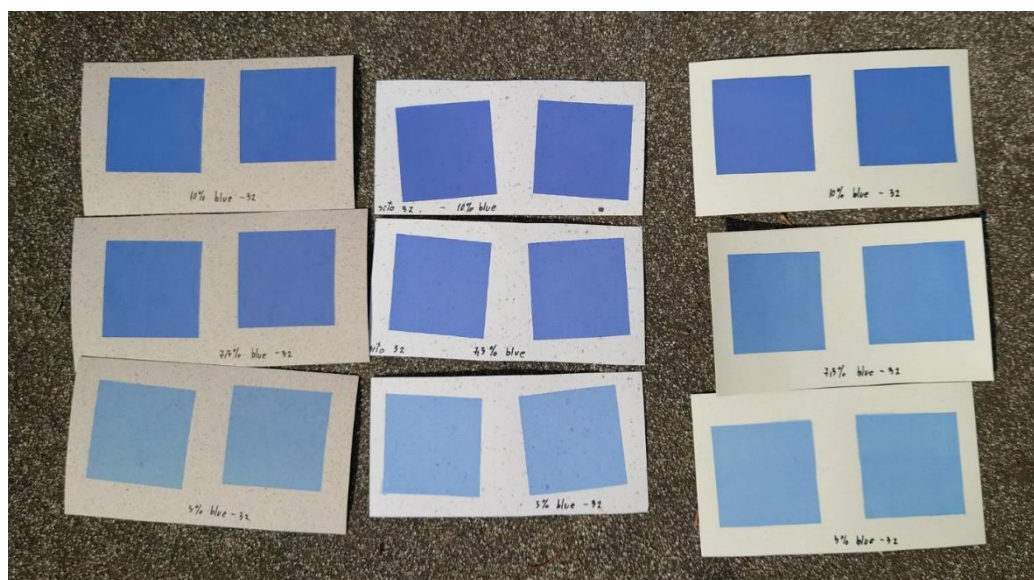
Slika 41 Otisci u zatvorenoj prostoriji na dnevnom svjetlu



Slika 42 Otisci izloženi sunčevoj svjetlosti

U zatvorenoj prostoriji pri dnevnom svjetlu, otisci su bili bijeli do slabo obojeni (Slika 41). Točnije, boja u kojoj se nalazio narančasti fotokromni pigment izgledala je gotovo bijelo, dok se boja s kobalt plavim pigmentom činila svijetlo zelenom. Dakle, u takvoj okolini nije bilo dovoljno UV zračenja koje bi pobudilo molekule fotokromnih pigmenata i dovelo do intenzivnog obojenja. Stoga se nije mogla provesti detaljna analiza otisaka kako bi se utvrdio utjecaj korištene tiskovne forme, tiskovne podloge i koncentracije fotokromnih pigmenata na vizualni doživljaj boje.

No, izlaganjem otisaka direktnoj sunčevoj svjetlosti, omogućena je opsežnija analiza otisaka.



Slika 43 Otisci kobalt plave boje izrađeni tiskovnom formom linijature 32 lin/cm

Na *Slici 43* prikazano je devet uzoraka otisnutih tiskovnom formom linijature 32 lin/cm. Otisci su poredani tako da se lijevo nalaze otisci izrađeni na tiskovnoj podlozi s udjelom suhe trave, u sredini na tiskovnoj podlozi s udjelom kave, i desno na tiskovnoj podlozi s udjelom agruma. U svakom od ta tri stupca na vrhu se nalazi otisak izrađen s bojom čiji je udio fotokromnog pigmenta 10%, u sredini 7.5% i na dnu se nalazi boja s udjelom fotokromnog pigmenta od 5%.

Budući da se čestice voća, kave i trave naziru ispod otisaka, može se primijetiti da su boje slabo pokritne, tj. imaju velik stupanj transparentnosti. To se najbolje vidi na tiskovnim podlogama s udjelom kave jer ta podloga ima najveće biljne čestice, ali i bjelinu. Nadalje,

opaža se jasna razlika u intenzitetu obojenja. Najintenzivnije su obojeni otisci koji u sebi imaju najveću koncentraciju fotokromnog pigmenta, a najslabije obojeni su otisci s najmanjom koncentracijom istog pigmenta. Taj učinak se vidi na sve tri tiskovne podloge, ali su razlike mnogo manje nego u slučaju kobalt plave boje. Tu se može vidjeti zašto su im krivulje spektralne refleksije bile ujednačene.

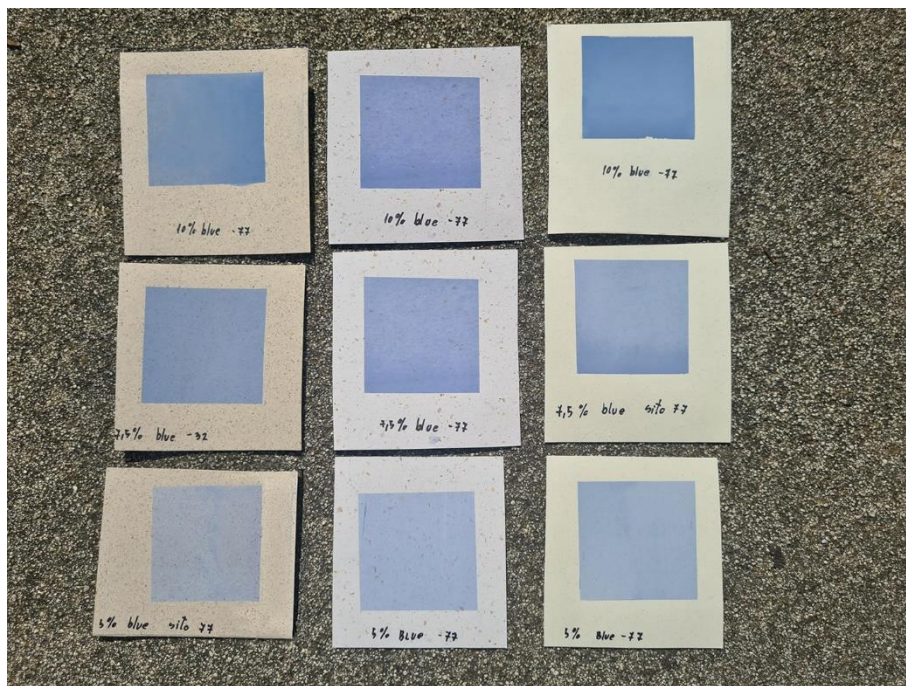
Također, može se reći da otisci na tiskovnoj podlozi s udjelom kave najviše dolaze do izražaja. To se pripisuje bjelini te podloge koja je ostvarena dodatkom optičkih bjelila. Naravno, i smanjenim udjelom recikliranih vlakana u odnosu na druge podloge. S druge strane, tiskovna podloga s udjelom suhe trave izgleda najtamnije, te najviše utječe na doživljaj otiska koji, na njoj, izgleda zagasito.



Slika 44 Otisci narančaste boje izrađeni tiskovnom formom linijature 32 lin/cm

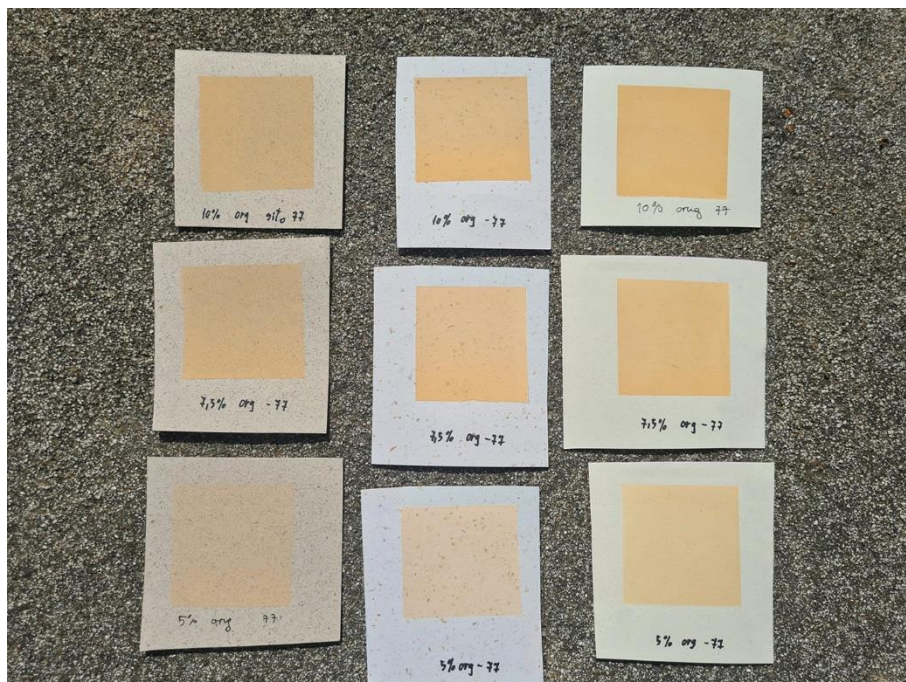
Utjecaj tiskovne podloge vidi se na jednak način i na otiscima narančaste fotokromne boje. Dakle, otisci su najizraženiji na tiskovnoj podlozi s udjelom kave. Budući da je boja vrlo transparentna, tamnije podloge poput podloge s udjelom suhe trave utječu na otisak tako što smanjuju njegovu kromatičnost. Taj podatak potvrđuju i spektrofotometrijska mjerenja gdje se vidjelo kako je spektralna refleksija najslabija na toj podlozi.

Utjecaj koncentracije fotokromnog pigmenta prikazan je u intenzitetu obojenja otisaka. Otisci izrađeni bojom s najvećom koncentracijom pigmenta imaju najveći intenzitet obojenja, dok otisci izrađeni bojom s najmanjom koncentracijom pigmenta imaju najmanji intenzitet obojenja. Može se reći kako su vizualne promjene jasnije i veće za razliku od podataka prikazanih spektrofotometrijskim mjerenjem.



Slika 45 Otisci kobalt plave boje izrađeni tiskovnom formom linijature 77 lin/cm

S obzirom na linijaturu tiskovnih formi koje su korištene za izradu otisaka, na otiscima su razlike jasno vidljive. Otisci koji su otisnuti tiskovnom formom linijature 77 lin/cm izgledaju svjetlije, imaju manju pokrivenost i manjeg su intenziteta obojenja nego li otisci napravljeni tiskovnom formom linijature 32 lin/cm. Iz toga se može zaključiti da debljina nanosa utječe na vizualni doživljaj fotokromne boje. Povećanjem debljine nanosa boje, povećava se efekt fotokromatičnosti.



Slika 46 Otisci narančaste boje izrađeni tiskovnom formom linijature 77 lin/cm

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu provedena je izrada tiskovnih formi i otiskivanje fotokromnim bojama u tehnici sitotisak. Sitotisak je idealna tehnika za tisak fotokromnom bojom jer omogućuje preciznu kontrolu nad količinom i položajem boje na podlozi. Fotokromne boje osjetljive su na svjetlost i mijenjaju boju kada su izložene UV zračenju ili sunčevoj svjetlosti, a sitotisak omogućava korištenje debljeg sloja boje, koji je neophodan za pravilno funkcioniranje fotokromnih boja. Boja mora biti dovoljno zasićena pigmentom da adekvatno reagira na svjetlost i mijenja boju.

U radu su korišteni kobalt plavi i narančasti pigment koji su umiješani u transparentnu bazu primjenjivu za otiskivanje na podlogama kao što su papiri i kartoni. Otisci su izrađeni korištenjem dviju tiskovnih formi linijatura 32 lin/cm i 77 lin/cm. Otiskivanje se izvodilo ručno na tri različite tiskovne podloge iz alternativnih izvora. Prva podloga bila je karton s udjelom trave 30%, druga karton s udjelom kave 5% i treća podloga karton s udjelom agruma 15%. Na osušenim otiscima provela su se spektrofotometrijska mjerenja i vizualna analiza kako bi se evaluirala emisija fotokromnih pigmenata uzrokovana izlaganjem UV zračenju i sunčevoj svjetlosti.

Na temelju provedenih mjerenja i analiza može se zaključiti da sva tri parametra (linijatura tiskovne forme, korištena tiskovna podloga i koncentracija pigmenta) utječu na emisiju otisnutih fotokromnih boja. Vizualna analiza potvrdila je rezultate dobivene spektrofotometrijskim mjerenjem. Tiskovna forma linijature 77 lin/cm uzrokovala je manju emisiju fotokromne boje u vidljivom dijelu spektra od tiskovne forme linijature 32 lin/cm. Razlog je što manja linijatura omogućava deblje nanose boje, a time i prolazak više čestica pigmenta kroz mrežicu na tiskovnu podlogu. Nadalje, utvrđeno je kako se povećanjem koncentracije pigmenta u boji povećava intenzitet obojenja, te otisci djeluju tamnije i imaju veću kromatičnost. Optimalna koncentracija pigmenta koja se koristila bila je 10% kao što je pisalo na uputama proizvođača. Međutim, razlike spektralnih krivulja kod promjene koncentracije i promjene linijature bile su minimalne, u nekim slučajevima čak i nije bilo razlika, dok su vizualnom analizom promjene bile više naglašene. Također, ispitivanjem je

prikazan vrlo velik utjecaj tiskovne podloge na emisiju fotokromnih boja. Naime, korištene boje bile su iznimno transparentne, stoga su tamne podloge poput podloge s udjelom suhe trave najviše utjecale na emisiju. Otisci na toj podlozi su bili manje zasićeni i nisu se isticali. I krivulje spektralne refleksije i vizualna procjena pokazale su velike promjene. Za razliku od podloge s udjelom trave, podloge s udjelima kave i agruma bile su pogodnije za tisak fotokromnim bojama. Njihove spektralne krivulje prikazale su veću refleksiju, bile su vizualno svjetlije i time omogućile fotokromnim bojama da se istaknu. To se, posebice, moglo primijetiti na podlozi s udjelom kave koja je u sebi imala optička bjelila i time pružila otisku još veći kontrast. Kako bi se utjecaj tamnih, teksturiranih podloga spriječio, trebalo bi se prije otiskivanja fotokromnom bojom, otisnuti bijelom pokritnom bojom. Taj postupak omogućio bi i korištenje manje koncentracije pigmenta za dovoljno dobar učinak.

Naposljetku, saznanja ovog završnog rada pružaju uvid u razinu utjecaja korištenih parametara i potiču daljnja istraživanja novih ekološki prihvatljivih podloga, ali i primjene fotokromnih boja.

6. LITERATURA

1. Gojo M., Mahović Poljaček S. (2013). *Osnove tiskovnih formi*, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
2. *** <https://wnybookarts.org/a-brief-history-of-screenprinting/> - Western New York Book Arts Center, 9.6.2023.
3. Sefar AG (1999). *Priručnik za sitotiskare*, Hrvatska Udruga Sitotiskara, Zagreb
4. Carr F. (1961). *A Guide to Screen Process Printing*, Vista Books, London
5. Mahović Poljaček S. (2022). *CtS – sustav izrade tf za propusni tisak*, dostupno na: https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/6338470/mod_resource/content/1/Predavanje9_CtS.pdf datum pristupa: 21.6.2023.
6. ***<https://kdmfab.com/silk-screen-printing-on-metal/> -KDM Fabrication, *Silk Screen Printing on Metal The Complete Guide*, 18.6.2023.
7. ***<https://www.weprofab.com/screen-printing-on-plastic/> - WeProFab, *Screen Printing on Plastic*, 18.6.2023.
8. ***<https://theplywood.com/screen-printing/> - The Plywood, *Screen Printing on Plywood*, 18.6.2023.
9. Jamnicki Hanzer S. (2023). *Tiskarske boje za konvencionalne tiskarske tehnike*, dostupno na: https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7775683/mod_resource/content/1/10_11_Boje%20po%20tehnikama%20tiska_nastavni%20tekst.pdf , datum pristupa: 22.6.2023.
10. Stržić Jakovljević M. (2023). *Kromogene tiskarske boje*, dostupno na: https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7942418/mod_resource/content/2/Kromogene%20tiskarske%20boje%20tekst.pdf , datum pristupa: 23.6.2023.
11. Logožar A., (2020). *Spiropirani – izuzetno svestrani fotokromi* , Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet

12. Gregor-Svetec D. (2018). *Intelligent Packaging. Nanomaterials for Food Packaging*, dostupno na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51271-8.00008-5> , datum pristupa: 24.6.2023.
13. Meng X. i sur. (2016). *Journal of Chemistry C*, Vol.4, No.32, (srpanj, 2016),4 (7584-7588)