

# Utjecaj viskoznosti tiskarskih boja na kvalitetu otiska na tiskovnim podlogama s ne-drvnim vlakancima

---

Zember, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:216:691653>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

DAVOR ZEMBER

UTJECAJ VISKOZNOSTI TISKARSKIH  
BOJA NA KVALITETU OTISKA NA  
TISKOVNIM PODLOGAMA S NE-  
DRVNIM VLAKANCIMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

DAVOR ZEMBER

UTJECAJ VISKOZNOSTI TISKARSKIH  
BOJA NA KVALITETU OTISKA NA  
TISKOVNIM PODLOGAMA S NE-  
DRVNIM VLAKANCIMA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Irena Bates

Student:

Davor Zember

Zagreb, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET**  
**Getaldićeva 2**  
**Zagreb, 7. 7. 2022.**

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme diplomskog rada izdaje se

### **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Davoru Zemberu, JMBAG 0128062130, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada diplomskog rada, pod naslovom: Utjecaj viskoznosti tiskarskih boja na kvalitetu otiska na tiskovnim podlogama s ne-drvnim vlakancima, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Irene Bates.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. doc. dr. sc. Plazonić Ivana, predsjednik/ica
2. izv. prof. dr. sc. Bates Irena, mentor/ica
3. prof. dr. sc. Zjakić Igor, član/ica



Dekan

Prof. dr. sc. Nikola Mrvac

*Ovaj rad izrađen je u okviru projekta „Otiskivanje, kvaliteta i uporabljivost podloga s ne-drvnim vlakancima“ UIP-2017-05-2573 financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.*

## **SAŽETAK**

Viskoznost je svojstvo (plinova i tekućina) da se odupru strujanju ili relativnom gibanju susjednih slojeva. Viskoznost je vrsta unutarnjeg trenja tekućine. Kvantitativna mjera unutarnjeg trenja je koeficijent viskoznosti tekućine. Viskoznost ovisi o: strukturi tvari i temperaturi (značajno opada s porastom temperature). Viskoznost je trenje koje nastaje kada molekule tekućine pomiču svoje slojeve tijekom strujanja (deformacije) pod utjecajem odgovarajućeg naprezanja. Očituje se samo kada se tekućina kreće. To se događa kada se slojevi tekućine kreću različitim brzinama. Budući da tiskarske boje sadrže suspendirane pigmentne čestice, koje su poput plastike, imaju veliki utjecaj na mjerenje viskoznosti – relativne elastičnosti boje. To znači da se mora primijeniti određena sila kako bi metalni cilindar viskozimetra prevladao relativnu elastičnost boje prije nego što se cilindar aktivira. Sila potrebna da se prevlada relativna elastičnost (krutost) prevlake naziva se granica tečenja. Granica tečenja boje ovisi o količini pigmenta, veličini čestica i obliku pigmenta te stupnju njegove disperzije ili flokulacije u vezivu. Viskoznost gustih tiskarskih boja određuje se mjerenjem otpora metalne šipke kroz boju u jedinici vremena. Za rijetke tiskarske boje koristite jednostavan ručni viskozimetar, drugačija ispusna čašica s mlaznicom na dnu mjerne posude. Mjeri protok volumena boje u jedinici vremena kroz otvor definiranog promjera. Viskoznost tiskarskih boja također se može odrediti pomoću rotacijskog viskozimetra: mjerenjem otpora koji tekućina pruža rotaciji metalne osovine/vretena.

**KLJUČNE RIJEČI:** boje, tehnike tiska, tiskovne podloge s ne-drvnim vlakancima, viskoznost

## **ABSTRACT**

Viscosity is the property of gases and liquids to resist flow or relative motion of adjacent layers. Viscosity is a form of internal friction of a fluid. A quantitative measure of internal friction is the coefficient of viscosity of a liquid. Viscosity depends on the structure of the substance and the temperature (it decreases significantly with increasing temperature). Viscosity is the friction that occurs when liquid molecules move their layers during flow (deformation) under the influence of an appropriate stress. It occurs only when the fluid is in motion. This happens when the liquid layers move at different speeds. Since printing inks contain suspended pigment particles, which are like plastic, they have a great influence on the measurement of viscosity - the relative elasticity of the ink. This means that a certain force must be applied for the metal cylinder of the viscometer to overcome the relative elasticity of the ink before the cylinder is activated. The force required to overcome the relative elasticity (stiffness) of the coating is called the yield strength. The yield strength of ink depends on the amount of pigment, the particle size and shape of the pigment, and the degree to which it is dispersed or flocculated in the binder. The viscosity of dense printing inks is determined by measuring the resistance of a metal bar through the ink in a unit of time. For rare printing inks, a simple hand-held viscometer is used, a different discharge cup with a nozzle at the bottom of the measuring cup. It measures the flow of the ink volume in a unit of time through an orifice of a certain diameter. The viscosity of printing inks can also be determined with a rotational viscometer by measuring the resistance that the liquid offers to the rotation of the metal axis/spindle.

**KEYWORDS:** viscosity, inks, non-wood fiber printing substrates, printing techniques

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Viskoznost .....	2
2.2. Dinamička viskoznost .....	4
2.3. Kinematička viskoznost.....	5
2.4. Ofsetni tisak .....	5
2.5. Fleksografski tisak .....	7
2.6. Bakrotisak .....	9
2.7. Tiskarske boje na bazi vode .....	11
2.8. Tiskarske boje na bazi organskog otapala .....	11
2.9. UV sušeće tiskarske boje.....	12
2.10. Tiskovne podloge s ne-drvnim vlakancima .....	13
2.10.1. Jednogodišnje biljke.....	14
2.10.1.1. Pšenica.....	15
2.10.1.2. Ječam .....	15
2.10.1.3. Pšenoraž .....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	17
3.1. Plan i metodologija ispitivanja.....	17
3.2. Tiskovne podloge.....	18
3.3. Podton .....	19
3.4. Korišteni uređaji .....	20
3.4.1. Rotacijski viskozimetar Fungilab.....	20
3.4.2. Esiproof uređaj .....	22
3.4.3. IGT printability teaster F1-basic.....	22
3.4.4. KPP Gravure system .....	23



4. REZULTATI I RASPRAVA .....	25
4.1. Izmjerena viskoznost .....	25
4.2. Kolorimetrijska razlika podtona ( $\Delta E_{00}^*$ ).....	32
4.2.1. Srednja vrijednost i standardna devijacija podtona.....	32
4.3. Vizualna analiza kvalitete.....	35
5. ZAKLJUČAK .....	44
6. LITERATURA.....	45

## 1.UVOD

Današnja proizvodnja grafičkih boja nastaje miješanjem komponenti u određenim omjerima i njihovom razribavanju. Osnovne komponente grafičkih boja (pigmenti, uglavnom čađa kao crni pigment, veziva, otapala i punila) slični su onima koji se koriste za proizvodnju boja i lakova. Međutim, grafičkoj industriji se boji dodaju i aditivi kako bi se poboljšala svojstva boje, poput sredstva za sušenje, antioksidansa i sredstva protiv otiranja. Zbog specifičnih svojstava najvažniji su: konzistencija, viskoznost, ljepljivost, moćenje, hlapljivost, pokrivenost i izdašnost. Grafičke boje su dostupne kao viskozne paste (za visoki tisak, plošni i propusni tisak) ili manje uobičajene tekućine (za duboki i visoki tisak). Faktori kao što su temperatura, vlaga i dodaci u boji mijenjaju viskoznost, stoga- proizvođači boja preporučuju vrijednosti u određenom rasponu za otisak optimalne kvalitete.

Ispitivanja provedena u ovom radu osmišljena su kako bi se utvrdilo kako viskoznost fleksografskih i bakrotiskarskih boja utječe na kvalitetu otiska. Korišten je rotacijski viskozimetar za mjerenje viskoznosti boje, a kvaliteta otiska promatrana na osnovu kvalitativnog parametra podtona. Temeljem veličine parametra podtona moguće je ustanoviti da li se je dogodila potpuna penetracija boje ili djelomična. Parametar podtona određuje se kao razlika u boji između stražnje strane otisnutog uzorka i stražnje strane neotisnutog uzorka. Vrijednost parametra podtona prikazat će se pomoću Euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*$ ). Kako bi se opisala ukupna kvaliteta otisaka dodatno će biti provedeno i vizualna analiza kvalitete otisaka pomoću 30 ispitanika.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Viskoznost

Viskoznost je naprezanje u protoku tekućine uzrokovano različitim brzinama kretanja sloja tekućine. Viskoznost se javlja radi kohezivnih sila između molekula unutar tekućini i adhezije između tekućine i statičkog tijela gdje se to strujanje događa. Slojevi fluida uz same ovojnice posude usporavaju brže slojeve, te treba istaknuti da se viskoznost odražava samo kada se fluid kreće. Viskoznost je, drugim riječima, svojstvo fluida da se odupire strujanju odnosno relativnom gibanju susjednih slojeva. Prema tome, viskoznost je neka vrsta unutarnjeg trenja fluida. Viskoznost ovisi o temperaturi i strukturi tvari. Značajno se smanjuje s porastom temperature. Kvantitativno mjerilo unutarnjeg trenja je koeficijent viskoznosti fluida [1].

Viskoznost (predstavljena simbolom  $\eta$  "eta") je omjer smičnog naprezanja ( $F/A$ ) i gradijenta brzine ( $\Delta v_x/\Delta z$  ili  $dv_x/dz$ ) u tekućini. Uobičajeniji oblik ovog odnosa, nazvan Newtonova jednažba, govori da je rezultirajuće smicanje tekućine izravno proporcionalno primijenjenoj sili i obrnuto proporcionalno njezinoj viskoznosti.

U međunarodnom sustavu mjernih jedinica (SI sustav), mjerna jedinica viskoznosti je pascal sekunda [Pa s], koja nema poseban naziv. Pascal sekunda je rjeđa nego što bi trebala biti u današnjem znanstvenom i tehničkom pisanju. Najčešća jedinica viskoznosti je din sekunda po kvadratnom centimetru [ $\text{dyne s/cm}^2$ ], koja je dobila naziv poise [P] po francuskom fiziologu Jeanu Poiseuilleu. Deset poisa jednako je jednoj pascal sekundi [Pa s], što čini centipois [cP] i milipaskalnu sekundu [mPa s] identičnim kao što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Preračunavanje mjernih jedinica za viskoznost

1 Pa s	10 P
1000 mPa s	10 P
1 mPa s	0.01 P
1 mPa s	1 cP

Poznato je da viskoznost varira s temperaturom. Med i sirupi mogu se učiniti tečljivijim kada se zagrijavaju. Motorno ulje i hidraulične tekućine znatno se zgušnjavaju u hladnim danima i značajno utječu na performanse tijekom zimskih mjeseci. Viskoznost jednostavne tekućine opada s povećanjem temperature. Kako temperatura raste, raste i prosječna brzina molekula u tekućini i smanjuje se vrijeme koje provode "u kontaktu" sa svojim najbližim susjedima. Dakle, kako temperatura raste, prosječne među molekularne sile se smanjuju. Stvarni način na koji te dvije količine variraju je nelinearan i naglo se mijenja kada tekućina promijeni fazu. Budući da je viskoznost toliko ovisna o temperaturi, ne bi se trebala navoditi bez nje.

Dok tekućine postaju tekuće kako postaju toplije, plinovi postaju gušći. Viskoznost plinova raste kako se povećava temperatura i približno je proporcionalna kvadratnom korijenu temperature. To je zbog povećanja učestalosti među molekularnih sudara na višim temperaturama. Budući da većinu vremena molekule u plinu slobodno lete kroz prazninu, sve što se poveća je broj puta kada je jedna molekula u kontaktu s drugom. Što se te molekule više sudaraju jedna s drugom, njihovo gibanje postaje neorganiziranije [2].



Slika 1. Razlika u viskoznosti tekućina [3]

Viskoznost je moguće podijeliti na dvije vrste. Na dinamičku viskoznost (apsolutna) i kinematičku viskoznost.

## **2.2. Dinamička viskoznost**

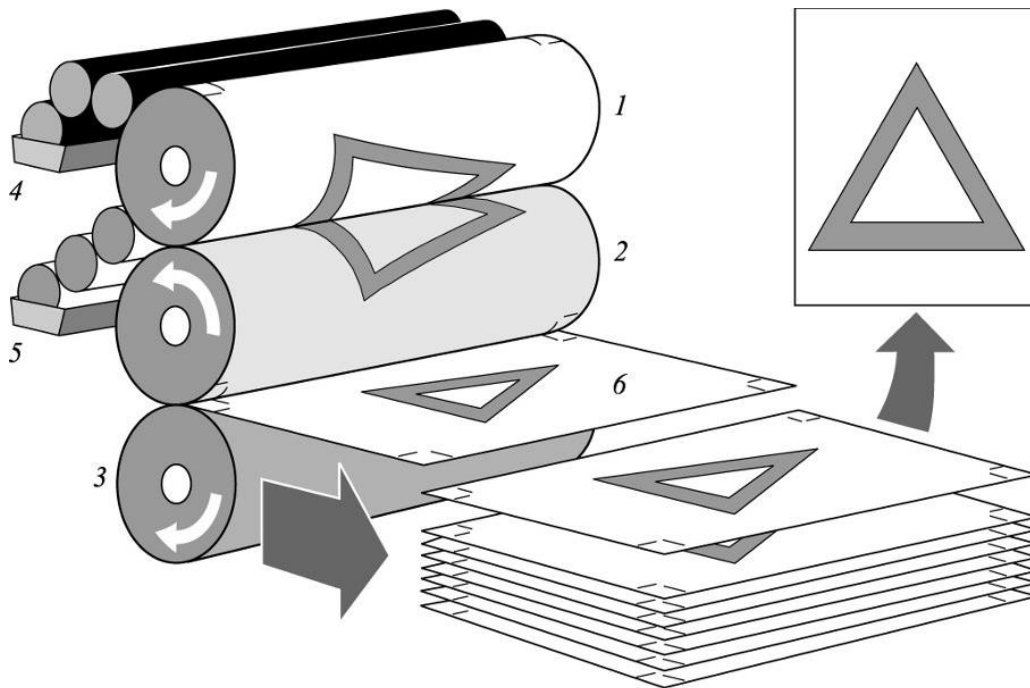
Dinamička viskoznost, također poznata kao apsolutna viskoznost, unutarnji je otpor između molekula pokretne tekućine koji određuje sile gibanja i deformacije. Isaac Newton je promatrao ovo ponašanje tekućina postavljajući ih između dvije paralelne ploče. Statička ploča i vrh imaju stalan pomak od jednog centimetra u sekundi. Odatle dolazi Newtonov zakon viskoznosti. Tekućina klizi u slojevima ili listovima, što znači da je brzina tekućine preko dodirnih površina jednaka i raste s udaljenosti, stvarajući tangentu zvanu tangencijalna sila [3].

### **2.3. Kinematička viskoznost**

Druga veličina se naziva kinematička viskoznost i to je omjer viskoznosti tekućine i njene gustoće. Kinematička viskoznost je mjera otpornog strujanja tekućine pod utjecajem gravitacije. Često se mjeri pomoću uređaja koji se zove kapilarni viskozimetar, u osnovi je to silikonska limenka s uskom cijevi na dnu. Kada se dvije tekućine jednakog volumena stave u identične kapilarne viskozimetre i puste da teku pod utjecajem gravitacije, viskoznijoj tekućini treba dulje od manje viskozne tekućine da proteče kroz cijev. SI jedinica kinematičke viskoznosti je metar kvadratni u sekundi [ $m^2/s$ ], koji također nema poseban naziv. Ova jedinica je toliko velika da se rijetko koristi. Češća jedinica kinematičke viskoznosti je kvadratni centimetar u sekundi [ $cm^2/s$ ], koji je dobio naziv stokes [St]. Čak je i ova jedinica malo prevelika, pa je najčešća jedinica kvadratni milimetar u sekundi [ $mm^2/s$ ] ili centistokes [cSt]. Jedan četvorni metar u sekundi jednak je milijun centististoka [2].

### **2.4. Ofsetni tisak**

Ofsetni tisak je tiskarska tehnika indirektnog plošnog tiska. Razvoj ofsetnog tiska započeo je patentiranjem prve tehnike plošnoga tiska, litografije, a početkom 20. stoljeća uveden je gumeni ofsetni međualjak. Krajem stoljeća ofsetni tisak je postao dominantna tehnika za tisak knjiga i novina, te je u velikoj mjeri istisnuo za tu svrhu do tada upotrebljavani knjigotisak.



Slika 2. Prikaz tiskovne jedinice ofsetne tehnike tiska [4]

- Gdje su:
- 1 – valjak s tiskovnom formom (tiskovni valjak)
  - 2 – ofsetni valjak
  - 3 – temeljni valjak
  - 4 – boja
  - 5 – otopina za vlaženje
  - 6 – tiskovna podloga

Danas su sve češći strojevi koji automatski ubacuju tiskarske ploče (forme) pa se tako koristi i CTP (eng. Computer-to-Plate) tehnologija gdje se tiskarske ploče izrađuju izravno s računala bez kopirnih predložaka. DI (eng. Direct Imaging) tehnologija za izradu ploča u tiskarskim prešama također se sve više koristi. Riječ je o postupku ofsetnog tiska bez vode, koji se postiže slojevitim materijalom tiskarske ploče: gornji silikonski sloj je izrazito oleofoban i ne prihvaća bojilo, a donji sloj je oleofilan i vrlo dobro prihvaća masnu tiskarsku boju. Kada se tiskovna ploča umetne u tiskarski stroj, prema uputama računala, laser razbija gornji sloj na mjestu tiskarskih elemenata, čime se formiraju

tiskovni elementi i slobodne površine na tiskovnoj ploči. Današnju tehnologiju karakterizira kompjuterska kontrola i upravljanje samim tiskom, koja može očitati karakteristike tiskane forme, postavljanje tiskarski stroj prije procesa tiska, denzitometrijski i spektrofotometrijski kontrola kvalitete tiska, kontrola preklapanja boja te redukcija grešaka i troškove na osnovi usporedbe kontroliranog otiska i odobrenog arka [4].

Tiskovna forma izrađena je na tankoj aluminijskoj ploči debljine od 0,15mm do 0,70mm i presvučena je fotoosjetljivim slojem. Uz aluminijske ploče koriste se višeslojne metalne ploče (obično kombinacija bakra i kroma). Tisak se temelji na kvašenju slobodne površine tiskarske forme otopinom za vlaženje (hidrofilna, oleofobna, svojstvo primanja vode i odbijanja boje) i vlaženju tiskovnih elemenata bojama (oleofilnim, hidrofobnim, svojstvo primanja boje, a odbijanja otopine za vlaženje). Otisak se prenosi s tiskovne forme na gumeni ofsetni cilindar, a zatim tiskarskim cilindrom (valjkom) na tiskovnu podlogu (slika 2.). Kao sredstvo za vlaženje koristi se obična voda s puferom za stabilizaciju pH ili voda s dodatkom izopropilnog alkohola. Sastav ofsetne boje je: vezivo, pigmenti, smola, punila i aditiva. Aditivi najčešći koji se koriste su za poboljšavanje brzine sušenja te voskovi (za veću otpornost na otiranje) itd. [5].

## **2.5. Fleksografski tisak**

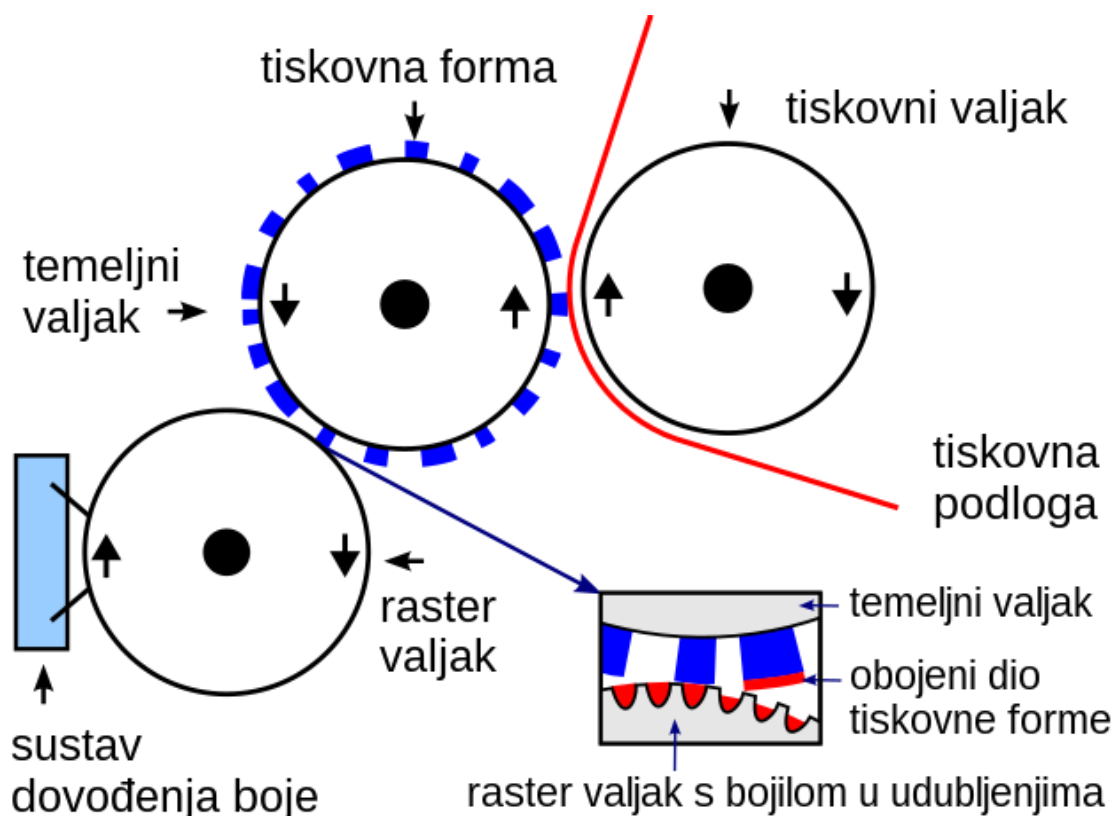
Fleksografski tisak (slika 3) je tehnika izravnog visokog tiska. U ovoj tehnici tiskovni elementi su podignuti u odnosu na slobodne površine. Prvi fleksografski tiskarski stroj razvijen je 1890. godine u Liverpoolu. Početkom 20. stoljeća, fleksografski tiskarski strojevi su koristili preše s gumenim tiskarskim pločama i bojom na bazi anilinskog ulja. Zbog toga se fleksografski tisak nazivao "anilinski tisak". U početku je kvaliteta fleksografskog tiska zaostajala, jer je tražena točnost i kvaliteta otisaka tiskana tehnologijom ofsetnog tiska. Nakon 1990-ih, ova tehnologija tiska je napravila veliki napredak u kvaliteti tiska, a fleksografski tisak je i danas najrazvijenija tehnologija. Koristi se u mnogim industrijama kao što su prehrambena, farmaceutska i duhanska. Fleksografske tiskarske ploče izrađene su od fotopolimera. Ovisno o stroju, debljina ploče varira od 1,14mm



do 6mm. Konvencionalne tiskarske ploče izrađuju se zračenjem UV svjetla kroz negativ filma, a zatim razvijanjem ploče u vodi ili nekoj drugoj vrsti otapala. Danas se tiskovne forme proizvode metodom CtP (Computer to Plate), što znači da više nema rasvjete, već se tiskovna forma izrađuje laserom. Na ovaj način značajno se skraćuje vrijeme proizvodnje i osigurava kvalitetnije tiskovne forme.

Prilikom tiska, tiskarska boja se sustavom valjaka prenosi iz komore s bojom na rastrirani (aniloks) valjak. Debljina premaza ovisi o korištenoj linijaturi valjka. Linijatura je broj užlijebljenih "čašica" koje sadrže boju po centimetru. Prosječna nanošenje boje je između 0,8 $\mu$ m i 1 $\mu$ m. Uloga rastriranog valjka je ravnomjerni nanos boje na tiskovnoj formi. Tiskovna forma je smještena oko temeljnog cilindra i njeni podignuti dijelovi (tiskarski elementi) preuzimaju boju s rastriranog valjka te prenose je na tiskovnu podlogu [6].

Fleksografske boje se uglavnom koriste za tisak na ambalažni materijal (kartonske kutije, valoviti karton, papirnate i plastične vrećice, ambalažu za hranu, etikete, novine, katalogi itd.). Boje kao i način otiskivanja sve su popularnije zbog niske cijene i ekološki prihvatljive čimbenika. Postoje glavne vrste boja za fleksografski tisak na bazi otapala i UV sušeće boje. Ovisno o vrsti podloge definira se vrsta tiskarske boje. Svaka boja ima prednosti i nedostatke, pa je vrsta boje osim o kompatibilnosti s podlogom, određuje se i na osnovu nekoliko čimbenicima kao što su cijena, brzina i upotreba ambalaže (hrana, deterdžent ili vrećice za kupovinu) [7].

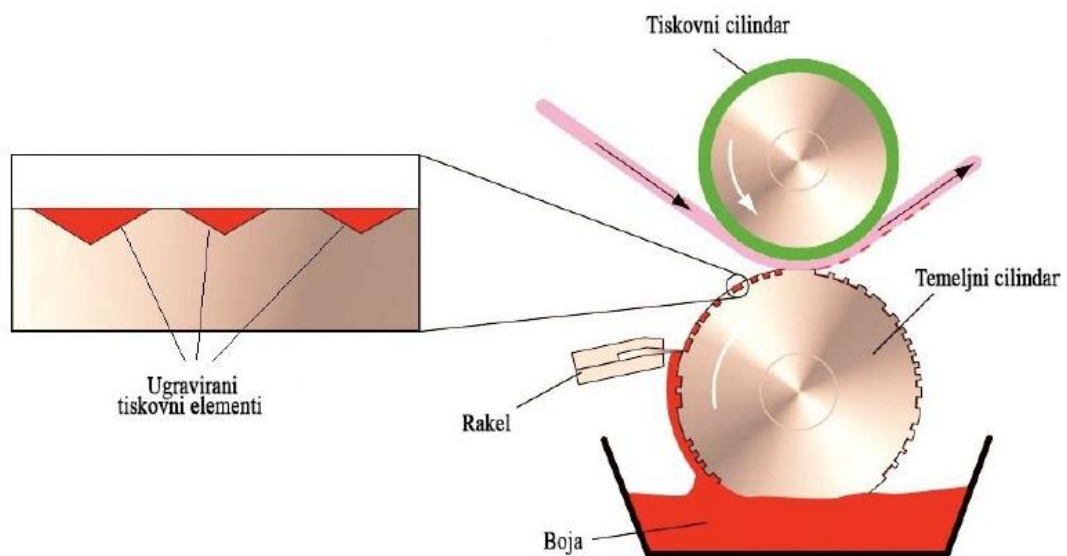


Slika 3. Prikaz tiskovne jedinice u fleksografskom tisku [7]

## 2.6. Bakrotisak

Bakrotisak je tehnika dubokog tiska i uglavnom se koristi za tisak ilustracija, časopisa, kataloga, fleksibilne ambalaže, tapeta, omotnog papira, ali i za novčanice, marke i druge vrijednosne papire. Tiskarska ploča ima oblik tiskarske ploče ili češće cilindra, s tankim slojem bakra debljine do 200 $\mu$ m. Tiskovni elementi, koji su nosači bojila, uvučeni su u odnosu na površinu tiskarske ploče ili valjka, a najveća im je dubina od 50 $\mu$ m do 60 $\mu$ m. Tiskovna forma tradicionalnog (običnog) bakrotiska ima otisnute elemente u obliku rasterskih elemenata, jednakih oblika i površine, različite dubine, koji se ogledaju na otisku različitim nanosom boje, omogućujući visokokvalitetne višetonske reprodukcije. Ne reproducira detalje tako oštro kao knjigotisak ili ofsetni tisak, ali nudi vrlo bogat tonski omjer u prijelazima između svjetla i sjene [8].

Tiskovna forma za autotipijski bakrotisak također ima tiskovne elemente u obliku rasterskih elemenata, ali su iste dubine i različite ploštine. Količina boje, a s time i tonska vrijednost, regulira se prema tome ploštinom, a ne dubinom rasterske udubine. Ova vrsta jetkanja koristi se za ispis višebojnih reprodukcija. Tiskarske ploče pripremaju se na bitno različite načine, od fotomehaničkoga kopiranja slike na fotosjetljivi kopirni sloj i jetkanja bakra pa do elektromehaničkoga graviranja tiskovnih elemenata uz izravno usnimavanje laserske zrake s izvornika. U posljednje vrijeme učinjen je značajan napor da se u dubokom tisku uvedu računalno kontrolirani postupci tiska (tzv. CTP tehnologija), koji pomoću računalno kontrolirane laserske zrake oblikuje tiskane elemente u posebnim obnovljivim slojevima na cilindrima tiskarskog stroja [8].



Slika 4. Shematski prikaz tiskovne jedinice u bakrotisku [9]

Tiskarska jedinica rotacijskog bakrotiska sastoji se od temeljnog cilindra (valjka) koji nosi bakrenu tiskarsku ploču i valjka obloženog gumom koji pritišće papir uz tiskarsku ploču kao što je prikazano na slici 4. Boja, koja ima nisku viskoznost, prvo se premazuje po cijeloj ploči, zatim se posebnim nožem (rakelom) uklanja sa slobodnih površina i ostaje samo u rasterskim udubinama. Bakrotisak u Hrvatskoj je na zavidnoj razini (Hrvatski grafički institut, Ognjen Prica), ali ga,

kao i u ostatku svijeta, postupno zamjenjuju tiskarske tehnologije koje su jeftinije i zahtijevaju kraće vrijeme pripreme [8].

### **2.7. Tiskarske boje na bazi vode**

Boje na bazi vode gdje se voda koristi kao otapalo koriste se za grublje, hrapave i upijajuće podloge kao što su papir i karton. Tiskanje na takvim podlogama vrlo je uspješno zbog upijajuće sposobnosti celuloznih vlakana, tako da se voda djelomično upija u podlogu, a djelomično isparava u okolinu. Otisci dobiveni ovom bojom zahtijevaju nešto duže vrijeme sušenja. Boje na bazi vode imaju veće koncentracije pigmenata od boja na bazi otapala, pa je prema tome za postizanje istih rezultata u otiskivanju, potreban manji volumen rastriranog valjka [10].

S bojom na bazi vode mora se postići određena temperatura da bi se uklonilo svo otapalo (voda). Postoje i boje na bazi vode koje se suše na zraku, ali je obično prihvatljiva opcija samo za tisak na razini obrta jer prostorija potrebna za sušenje uvelike smanjuje produktivnost. Mnoge boje na bazi vode također se mogu brže sušiti dodatkom katalizatora. Nedostatak katalizatora je u tome što kada se jednom doda u boju na bazi vode, stvara vremensko ograničenje ili "trajnost upotrebe" u kojem se boja mora upotrijebiti ili ukloniti. Najduži vijek trajanja katalizirane boje na bazi vode je između 4 i 12 sati [10].

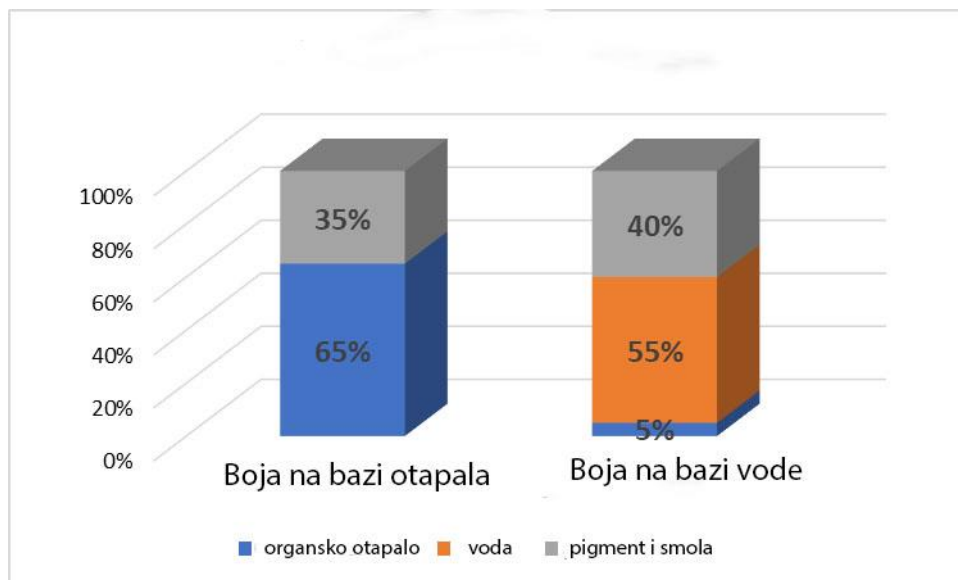
### **2.8. Tiskarske boje na bazi organskog otapala**

Tiskarske boje na bazi organskih otapala koriste organsko otapalo kao otapalo, a upotrebljavaju se za tisak na neupojne materijale kao što su polimerni materijali, folije, laminati, papir, karton i ljepenke. Za filmove i folije koriste boje s odgovarajućom adhezijom, tako da boje s kojima bi se moglo tiskati na svim filmovima nisu dostupne potrebno je odabrati optimalnu boju za svaku polimernu podlogu. Boje trebaju biti vrlo transparentne kako bi se maksimalno iskoristila reflektivna svojstva folije i filma pa se koriste nitrocelulozna boje visoke svjetlostalnosti. Za tisak na papirima i kartonima koriste se jednostavne i

jeftine boje koja sadrže bazičnu boju otoplenu u alkoholu, sredstvo za taloženje i smolni firnis kako bi se poboljšao prijelaz boje i otpornost otiska [11].

Sušenje kod ovih boja odvija se isparavanjem alkohola i po potrebi izlaganjem visokoj temperaturi. Alkoholne boje se moraju pomiješati sa RG-107 (alkohol) da bi se dobila idealna viskoznost. Po potrebi se moraju dodavati i usporivač koji usporava sušenje boje i etil acetat (ubrzivač) koji ubrzava sušenje boje. Dodavanje usporivača i ubrzivača ovisi o površini koja se otiskuje.

Zbog otapala u bojama, prije svega hlapljivih organskih spojeva, pokrenuta su pitanja o zaštiti zdravlja i sigurnosti na radu, budući da su vrlo zapaljiva i uzrokuju zdravstvene probleme. Prema propisima Agencije za zaštitu okoliša, korištenje i odlaganje otapala je vrlo skup proces. Zbog toga su se sve više počela koristiti boje na bazi vode [12].



Slika 5. Usporedba sastava boja na bazi otapala i zamjenskih boja na bazi vode [11]

## 2.9. UV sušeće tiskarske boje

UV sušeće boje su bez otapala i sastoje se od: 55-80% veziva, 10-20% pigmenta, 5-15% fotoinicijatora i 5-10% aditiva. UV sušeće boje daju veliki doprinos razvoju fleksografskog tiska. Velika prednost UV sušećih boja je brzo

sušenje na neupojnim podlogama i pritom ne stvaraju hlapljive organske spojeve. Izlaganjem otiska UV zračenju nastaje foto-inicirana polimerizacija, tj. formira se kruti sloj prevlake. Takvim se bojama dobivaju visokokvalitetni otisci s dobrim mehaničkim i kemijskim svojstvima, koje se primjenjuju za tisak na sljedećim vrstama tiskarskih podloga: papir, PVC, folija i laminat. Tijekom procesa sušenja, nikakvi sastojci se ne uklanjaju iz boje te se gotovo 100% prenesene količine koristi za stvaranje obojenja.

Jedna od najvećih prednosti UV boja je da ne mijenjaju konzistentnost zbog isparavanja i promjene pH vrijednosti, a održiva je i za vrijeme tiskovnog procesa. Isparavanje konvencionalnih bojila na bazi vode i otapala dovodi do mijenjanja viskoznosti boje tijekom vremena[13].

Ne mogu se sušiti na klasičan način već će se transformirati iz tekućeg u čvrsto agregatno stanje jedino ako su izložene visoko koncentriranom ultraljubičastom zračenju. Kemijski fotoinicijatori su osjetljivi na UV zračenje koje im mijenja kemijsko strukturalne veze formirajući grupe slobodnih radikala. UV sušeće boje su također proizvedene od polimernih smola, koje osiguravaju osnovu boje i njene prijanjajuće karakteristike. Polimerne smole su u ovom slučaju različite od onih koje se koriste kod boja na bazi otapala; one su u obliku viskoznih oligomera koji sadrže reaktivne akrilatne grupe i poznati su kao reaktivne smole [11].

## **2.10. Tiskovne podloge s ne-drvnim vlakancima**

U industriji papira, kao jednoj od najvećih i najbrže rastućih industrija u svijetu, celulozna vlakna su osnovna sirovina za proizvodnju papira. U industriji celuloze i papira smanjuje se potrošnja sintetičkih materijala koji su neprihvatljivi za okoliš, dok se povećava potrošnja prirodnih resursa ili lignoceluloznih materijala. Drvo je i dalje najčešće korištena sirovina u svijetu za proizvodnju papira i celuloze, ali je njegova opskrba naglo pala zbog neracionalnog dugotrajnog iskorištavanja ovog prirodnog bogatstva. Pronalaženje novih izvora primarnih celuloznih vlakana ključno je za papirnu i tiskarsku industriju, s obzirom na to da je smanjenje šumskih površina smanjilo dostupnost drvnih

sirovina, radi povećanja stope rasta svjetske populacije i njihovog životnog standarda, za papirnu i grafičku industriju je od ključne važnosti pronalazak novih izvora primarnih celuloznih vlakana [14].

Istraživanja imaju za cilj procijeniti mogućnost proizvodnje inovativnih papirnih tiskarskih medija i njihovu iskoristivost korištenjem ne-drvnih vlakana iz slame žitarica u hrvatskom podneblju (pšenica, ječam i pšenoraž).

Slama žitarica kao alternativa drvnoj sirovini je potencijalna sirovina jer po prinosu blisko prati drvenu sirovinu te je jeftin i godišnje obnovljiv izvor vlakana. Na temelju nekih kvalitativnih parametara moguće je korištenje ne-drvnih primarnih vlakana za ispis i upotrebljivost tiskanih medija na bazi papira, a rezultat je izrada preporuka i smjernica za novi grafički proizvod koji će unaprijediti grafičku tehnologiju korištenjem obnovljivih izvora [14].

#### **2.10.1. Jednogodišnje biljke**

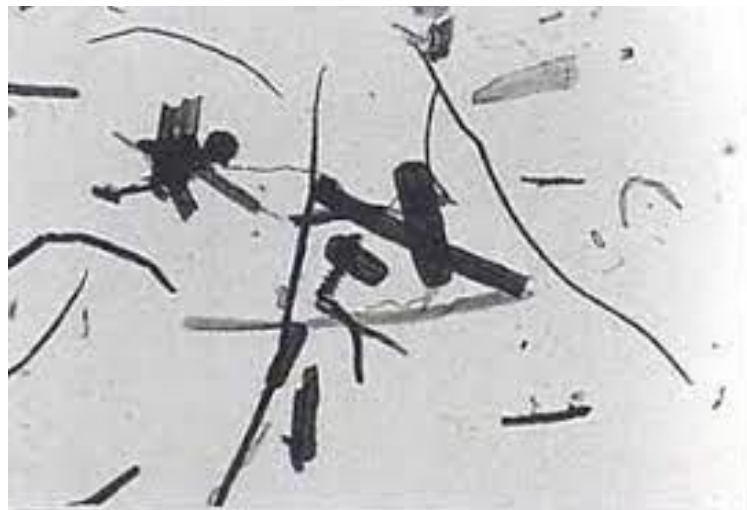
Danas je proizvodnja papira i papirnatih proizvoda uglavnom usmjerena na zamjenu ne-drvnih sirovina. Za izradu papira može se koristiti i celuloza iz jednogodišnjih biljaka, koja se može podijeliti na slamu i druge jednogodišnje biljke. Pojam slama odnosi se na slamu žitarica kao što su pšenica, raž, ječam. Neke od ovih biljaka koriste stabljike za iskorištavanje celuloze, kao u žitaricama, dok druge, poput pamuka, koriste sjemene niti, tj. dlačice.

Jednogodišnje biljke mogu se koristiti u preradi celuloze i proizvodnji papira, ali mogu se pojaviti kao sekundarna sirovina za proizvodnju papira nakon što se vlakna koriste u proizvodnji i tkanju tekstila. Kao poljoprivredna zemlja, Hrvatska proizvodi veliku količinu slame kao produkt poljoprivrednog uzgoja. S obzirom na globalnu nestašicu drvnih sirovina, korištenje biljnih ostataka u industriji papira i ambalaže od velike je važnosti [15].

### 2.10.1.1. Pšenica

Pšenica spada u žitarice koje se uzgajaju na najvećoj obradivoj površini od svih drugih vrsta hrane. Društveno, ona je najveći izvor biljnih bjelančevina u ljudskoj ishrani, jer ima viši sadržaj bjelančevina od drugih značajnih žitarica, kukuruza i riže. Za njezino klijanje i nicanje najpovoljnija je temperatura između 14-20°C. Posebno je osjetljiva na manjak vlage.

Redovnim kontroliranjem stanja usjeva pšenice može se pravovremeno i pravovaljano zaštititi usjev pšenice i tako povećati doprinos i kvaliteta. Kad vlažnost zrna pšenice dosegne 20%, žetva može početi, ali tada se zrno mora dosušivati u sušarama. Njena vlakanca su duga od 0.2mm do 5mm. S dodatkom drvnih vlakanaca, pšenica je zbog kraćih vlakanaca pogodna za proizvodnju papira [16]



Slika 6. Pulpa s vlakancima slame [17]

### 2.10.1.2. Ječam

Ječam je jednogodišnja biljka iz roda trava, jedna je od najstarijih žitarica u Europi s dugom i važnom poviješću. Uspijeva u hladnim krajevima i zauzima četvrto mjesto u svjetskoj proizvodnji žitarica. Ječam ima skromnije potrebe za vlagom i temperaturom u usporedbi sa pšenicom [16].



### **2.10.1.3. Pšenoraž**

Pšenoraž je sitnozrna žitarica, hibrid pšenice i raži. Stvoreni su brojni sortimenti koji imaju bolji aminokiselinski sastav od raži, a po sadržaju energije je slična pšenici. Karakterizira je rani i ubrzani proljetni porast.

Pšenoraž ima dobru otpornost na niske temperature i prezimljuje bolje od pšenice. Zbog dobro razvijenog korijenovog sistema i karakteristike listova pšenoraž ima dobru otpornost na sušu [16].

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1. Plan i metodologija ispitivanja**

U ovom radu cilj je bio ustanoviti utjecaj viskoznosti tiskarskih boja (fleksografskih i bakrotiskarskih) na samu kvalitetu otisaka. Mjerenje viskoznosti tiskarskih boja vršeno je na rotacijskom viskozimetru proizvođača Fungilab dok je kvaliteta otiska promatra se na osnovu kvalitativnog parametara podtona i vizualnom analizom. Kvalitativnim parametrom podtona promatrana je upojnost, odnosno penetracija tiskarskih boja unutar tiskovnih podloga s ne-drvnim vlakancima, dok je vizualnom analizom promatran ukupan subjektivan dojam kvalitete.

Metodologija ovog rada je podijeljena u nekoliko koraka:

1. Mjerenje viskoznosti fleksografski i bakrotiskarskih tiskarskih boja
2. Otiskivanje (fleksografski tisak i bakrotisak) tiskovnih podloga s ne-drvnim vlakancima
3. Mjerna analiza podtona
4. Vizualna analiza kvalitete

Dimenzije otisaka dobivenih tehnikom fleksografskom tiska s konvencionalnim bojama (na bazi vode) na tržišnom papiru s ne-drvenim vlakancima (gramature 42,5g/m<sup>2</sup>) su 190mm x40mm. Otiskivanje je izvedeno pomoću Esiproof uređaja u punom tonu s Iroflex 917 bojama proizvođača Sun Chemical. Kod otiskivanja koristio se rastrirani valjak linijature 40lin/cm s volumenom ćelija od 39.10cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Otiskivanje UV sušećim bojama napravljeno je na drugom uređaju F1-basic printability teaser-u s UV sušačem (UV-C cijev sa snagom izvora svjetlosti od 120 W/cm, intenzitetom od 60%). Otiskivanje pri brzini od 0.50 m/s izvedeno je u punom tonu Solarflex Integra bojama proizvođača Sun Chemical s tiskovnom silom od 300N i silom rastriranog valjka od 200N. Pri otiskivanju se koristio rastrirani valjak linijature 90lin/cm (kut rastriranja 60°) s volumenom ćelija od 18ml/m<sup>2</sup>. Otiskivanje je vršeno pri temperaturi od 23°C i relativnoj vlazi od 50%.

Otisci napravljeni tehnikom bakrotiska dobiveni su u dimenzijama od 160mmx95mm. Otiskivanje je napravljeno pomoću laboratorijskog uređaja KPP Gravure system s tiskovnim cilindrom mehaničke tvrdoće 65 Shore i graviranom tiskovnom formom pod kutem od 37°. Otisci koji su napravljeni konvencionalnim bojama (na bazi organskih otapala) u punom tonu napravljeni su sa Sunprop bojama proizvođača Sun Chemical. Na tom uređaju tiskarska boja prenosi se s elektronički gravirane tiskovne forme direktno na podlogu koja je pričvršćena na gumeni tiskovni cilindar. Pritisak rakela i tiskovnog cilindra ostvaruje se pomoću mikrometra što omogućuje ujednačenu ponovljivost otisaka.

Na istom laboratorijskom uređaju, koji simulira bakrotiskarskuu tehniku tiska napravljeni su otisci s UV sušećim bojama u punom tonu sa Solarflex UV bojama proizvođača Sun Chemical. Na tiskovnu formu nanesena je boja pipetom u količini od 15ml. Uzorci su sušeni sa UV sušačem Technigraf Aktiprint L10-1 (UV-C cijev, sa snagom izvora svjetla od 120 W/cm, intenzitetom od 60%) Otisci su otisnuti pri temperaturi od 23°C i relativnoj vlažnosti od 52%.

Podton boje uočava se kada je otisak indirektno osvjetljen (otisak zadnjom stranom okrenut izvoru svjetlosti).

### **3.2. Tiskovne podloge**

U tablici 2. prikazan je sastav i kratice tiskovnih podloga koje su otiskivane fleksografskom i bakrotiskarskom tehnikom tiska.

Tablica 2. Tiskarske podloge na kojima je rađeno ispitivanje

**K Komercijalni papir sa drvnim vlakancima**

<i>N</i>	Laboratorijski papir sa drvnim vlakancima
<i>3NP</i>	Laboratorijski papir s 30%-tnim udjelom vlakana pšenice
<i>3NJ</i>	Laboratorijski papir s 30%-tnim udjelom vlakana ječma
<i>3NTR</i>	Laboratorijski papir s 30%-tnim udjelom vlakana pšenoraži (tritikala)

**3.3. Podton**

Podton je boja koja se vidi na otisku kad se indirektno osvjetli sa stražnje strane. Parametar podtona mjeri se kao razlika u boji između stražnje strane otisnutog uzorka i stražnje strane neotisnutog uzorka. Vrijednost parametra podtona bit će prikazana pomoću Euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*$ ).

Euklidska razlika boja ( $\Delta E_{00}^*$ ) određivana je na svim uzorcima pomoću jednadžbe određene formulom 1:

$$\Delta E_{00}^* = \left( \frac{\Delta L'}{k_L S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H} \quad (1)$$

gdje su:  $\Delta L'$ – razlika svjetline otiska prije i poslije tretmana starenja

$\Delta C'$ – razlika zasićenja otiska prije i poslije tretmana starenja

$\Delta H'$ – razlika tona otiska prije i poslije tretmana starenja

$R_T$ – rotacijska funkcija

$k_L, k_C, k_H$  – faktori za varijacije u eksperimentalnim uvjetima

$S_L, S_C, S_H$  – funkcije težine za svjetlinu, kromatičnost i ton

Kolorimetrijska razlika ( $\Delta E_{00}^*$ ) grafički predstavlja razliku između dvije točke u sustavu, tj. definira se kao Euklidska razlika između koordinata za dva podražaja (referentnog i uspoređivanog).

U tablici 3 su prikazane vrijednosti odstupanja od vrijednosti boje iskazane kao  $\Delta E_{00}^*$  te tolerancije ljudskog oka na istu [17].

Tablica 3. Vrijednosti i tolerancije euklidske razlike boja

Vrijednost $\Delta E_{00}^*$	Tolerancija
<1	Razlika u boji nije vidljiva prosječnom ljudskom oku
1 - 2	Razlika se primjećuje, ali je vrlo mala
2 - 3,5	Razlika u boji je vidljiva (umjerena)
3,5 - 5	Razlika u boji je dobro vidljiva, očita razlika
>5	Razlika u boji je vrlo dobro vidljiva, očigledna odstupanja

### 3.4. Korišteni uređaji

#### 3.4.1. Rotacijski viskozimetar Fungilab

Fungilab - Viscolead One (slika 7) je rotacijski viskozimetar, koji se temelji na mjerenju zakretnog momenta rotirajućeg vretena u uzorku određenom brzinom. Koristi se isključivo za mjerenje u zatvorenom prostoru. Raspon temperature okoline u kojoj može raditi kreće se između 5 i 40°C. Rotacijski viskozimetri mjere viskoznost uzorka okretanjem vretena u čašici. Viskoznost se određuje mjerenjem zakretnog momenta na okomitoj osovini koja rotira vreteno [18].



Slika 7. Rotacijski viskozimetar Fungilab

### 3.4.2. Esiproof uređaj

Esiproof uređaj (slika 8) je manualni instrument za izradu visokokvalitetnih fleksografskih otisaka. Tim uređajem moguće je otisnuti sve vrste boja, uključujući i one koje se suše UV zračenjem. Čelični i keramički rastrirajući valjci su lako zamjenjivi. Mogu se raditi otisci do 1m dužine i širine 70mm. Unaprijed se podešava pritisak između valjaka i lako se čisti nakon otiskivanja.



Slika 8: Esiproof uređaj za simulaciju fleksografskog tiska [19]

### 3.4.3. IGT printability teaster F1-basic

F1 Basic printability teaster (slika 9) se koristi kada nema potrebe za promjenom brzine ili sile rastriranog valjka i ispisa nakon što je ona postavljena na optimalne vrijednosti. Ovaj se tester posebno koristi za kontrolu kvalitete boje i supstrata. U većini slučajeva dovoljna je širina ispisa od 40mm, ali ponekad je poželjan širi ispis. F1 uređaj ispisuje otiske fleksografskim i

bakrotiskarskim bojama koje se mogu koristiti za mnoge namjene. Štedi na troškovima jer za testiranje boja na tiskarskom stroju je potrebno duže vremena [20].



Slika 9. F1 Basic printability tester uređaj za simulaciju fleksografskog tiska [20]

#### **3.4.4. KPP Gravure system**

Pomoću K Printing Proofer (KPP) uređaja prikazanog na slici 10 moguće je proizvesti visokokvalitetne uzorke bakrotiska . Neophodan je alat za proizvođače boja ili pisače s elektronički obrađenim tiskarskim pločama, te velikom brzinom ispisa do 40m/min, KPP je idealan za kontrolu kvalitete i prezentaciju proizvoda, istraživanje i razvoj podataka o podudaranju boja.

K Printing Proofer se vrlo lako čisti i svi dijelovi su otporni na otapala. Pogodan je za istovremeni ispis dviju ili više boja na bilo koju fleksibilnu podlogu.

Maksimalna gravirana površina (bakrotisak) je 180mmx110 mm.





Slika 10. KPP Gravure system uređaj za simulaciju bakrotiska [22]

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Izmjerena viskoznost

Sve promatrane tiskarske boje koje su korištene u ovom istraživanju sadrže vrijednost viskoznosti kako je definirao sami proizvođač boje. Viskoznost je prikazana u milipascalima (mP), a korištena količina boje od 330g (200mL). Sva mjerenja su mjerena s L4 vretenom.

U tablicama 4-7 prikazane su vrijednosti viskoznosti UV sušećih (bakrotiskarskih i fleksografskih) procesnih boja koje su korištene u istraživanju. Ista boja (Solarflex Integra boja proizvođača Sun Chemical) je korištena za obje tehnike tiska.

Uočena je dosta velika oscilacija u viskoznosti boja, ali svi podaci su u skladu s preporukama proizvođača. Najveću izmjerenu viskoznost sadrži crna boja, dok najmanju vrijednost pokazuje cijan boja. Iz tablice 6 može se vidjeti da je žuta boja najstabilnija te u svih 10 mjerenja pokazuje minimalna odstupanja.

Tablica 4. Viskoznost cijan UV sušeće boje

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
Cijan	100	1135,15	18,92	22,3
	100	1086,65	18,11	22,3
	100	1078,33	17,98	22,3
	100	1079,88	18,08	22,2
	100	1105,05	21,76	22,2
	100	1018,96	16,99	22,2
	100	1127,21	18,79	22,2
	100	1098,37	18,31	22,2
	100	1095,36	18,26	22,3
	100	1108,05	18,37	22,4
AS	100	1093,30	18,55	22,26

Tablica 5. Viskoznost magenta UV sušeće boje

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Magenta</b>	100	1558,31	25,98	22,2
	100	2221,77	37,04	22,4
	100	2209,47	36,83	22,4
	100	2206,12	36,78	22,4
	100	2205,36	36,76	22,4
	100	2200,05	36,76	22,4
	100	2204,84	36,76	22,4
	100	2203,66	36,74	22,4
	100	2200,71	36,69	22,4
	100	2193,72	36,57	22,4
<b>AS</b>	100	2140,40	35,69	22,38

Tablica 6. Viskoznost žute UV sušeće boje

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Žuta</b>	100	1379,31	22,99	22,5
	100	1327,65	22,13	22,6
	100	1315,05	21,92	22,6
	100	1313,68	21,91	22,6
	100	1315,61	21,93	22,6
	100	1316,03	21,95	22,5
	100	1316,66	21,97	22,5
	100	1317,83	21,97	22,5
	100	1318,11	21,98	22,5
	100	1318,29	21,98	22,5
<b>AS</b>	100	1323,82	22,07	22,54

Tablica 7. Viskoznost crne UV sušeće boje

<b>Boja</b>	<b>Brzina</b>	<b>Viskoznost</b>	<b>Zakretni moment</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Crna</b>	100	1992,35	33,21	22,4
	100	2483,97	41,41	22,5
	100	2401,78	40,04	22,3
	100	2484,52	41,42	22,2
	100	2362,93	39,39	22,2
	100	2340,07	39,01	22,2
	100	2318,85	38,66	22,2
	100	2316,24	38,61	22,2
	100	2442,62	40,72	22,2
	100	2372,25	39,55	22,3
<b>AS</b>	100	2351,56	39,20	22,27

U tablicama 8-11 prikazane su vrijednosti cijana, magente, žute i crne konvencionalne boje na bazi organskih otapala koje se koriste u bakrotisku. Sva mjerenja su rađena s L3 vretenom. Mjerena je količina boje od 200mL (280g). Generalno svi rezultati spadaju u okvire predviđene od proizvođača.

Uočava se kako najveću viskoznost ima magenta bakrotiskarska boja (tablica 9) sa svojim prosjekom od 650mP. Najmanju viskoznost ima cijan boja (tablica 8), ali prilikom mjerenja se pokazao kao najstabilniji uzorak u svih 10 mjerenja.

Tablica 8. Viskoznost cijan bakrotiskarske boje na bazi otapala

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Cijan</b>	100	229,93	19,16	22,0
	100	279,19	23,27	22,2
	100	277,39	23,11	22,2
	100	277,41	23,13	22,2
	100	278,92	23,25	22,2
	100	282,67	23,56	22,3
	100	282,93	23,58	22,4
	100	283,61	23,64	22,5
	100	284,09	23,68	22,5
	100	284,36	23,71	22,5
<b>AS</b>	100	276,05	23,01	22,30

Tablica 9. Viskoznost magenta bakrotiskarske boje na bazi otapala

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Magenta</b>	100	753,58	62,25	22,2
	100	868,87	72,42	22,2
	100	761,81	63,50	22,2
	100	735,02	61,26	22,2
	100	714,06	59,52	22,2
	100	721,78	60,16	22,2
	100	709,33	59,12	22,2
	100	703,57	58,64	22,2
	100	691,68	57,65	22,2
	100	659,11	54,94	22,2
<b>AS</b>	100	731,88	60,95	22,2

Tablica 10. Viskoznost žute bakrotiskarske boje na bazi otapala

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Žuta</b>	100	260,16	21,68	22,3
	100	347,57	28,97	22,5
	100	343,15	28,18	22,5
	100	352,27	29,36	22,6
	100	361,74	30,15	22,6
	100	363,21	30,27	22,6
	100	359,55	29,97	22,6
	100	357,94	29,83	22,7
	100	354,56	29,55	22,7
	100	350,45	29,21	22,7
<b>AS</b>	100	345,06	28,65	22,58

Tablica 11. Viskoznost crne bakrotiskarske boje na bazi otapala

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Crna</b>	100	677,78	56,49	22,6
	100	521,44	43,46	22,8
	100	476,07	38,68	22,9
	100	458,08	38,18	22,9
	100	445,47	37,13	22,9
	100	446,59	37,22	22,9
	100	439,74	36,65	22,9
	100	435,47	36,31	22,9
	100	432,47	36,05	22,9
	100	425,89	35,75	22,9
<b>AS</b>	100	475,90	39,59	22,86

U tablicama 12-15 prikazane su vrijednosti viskoznosti za fleksografske tiskarske konvencionalne boje na bazi vode. Za ispitivanje je količinski korišteno 200mL (300g) boje.

Kao najstabilnija boja pokazala se cijan fleksografska boja. Najviše oscilacija uočene su kod crne boje, pri čemu su sve boje pokazale dobra svojstva i poklapaju se s preporukama proizvođača.

Tablica 12. Viskoznost cijan fleksotiskarske boje na bazi vode

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Cijan</b>	100	2165,77	36,11	22,5
	100	2453,08	40,89	22,7
	100	2396,14	38,94	22,7
	100	2379,57	39,57	22,7
	100	2364,61	39,42	22,7
	100	2354,81	39,26	22,7
	100	2343,47	39,07	22,6
	100	2337,19	38,96	22,6
	100	2329,79	38,84	22,6
	100	2323,81	38,74	22,6
<b>AS</b>	100	2344,82	38,98	22,64

Tablica 13. Viskoznost magenta fleksotiskarske boje na bazi vode

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Magenta</b>	100	109,65	36,56	22,9
	100	185,03	61,69	23,2
	100	184,46	60,50	23,2
	100	199,21	66,42	23,2
	100	153,07	51,03	23,2
	100	185,01	61,68	23,2
	100	180,65	60,23	23,2
	100	180,83	60,29	23,2
	100	191,39	63,81	23,2
	100	191,23	63,76	23,2
<b>AS</b>	100	176,05	58,60	23,17

Tablica 14. Viskoznost žute fleksotiskarske boje na bazi vode

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
<b>Žuta</b>	100	1469,88	24,51	19,8
	100	1863,24	31,06	20,4
	100	1833,83	31,57	20,6
	100	1818,85	30,32	20,8
	100	1806,41	30,13	20,9
	100	1796,07	29,94	21,0
	100	1787,26	29,79	21,3
	100	1784,14	29,74	21,3
	100	1784,83	29,70	21,3
	100	1779,48	29,66	21,3
<b>AS</b>	100	1772,40	29,64	20,87



Tablica 15. Viskoznost crne fleksotiskarske boje na bazi vode

Boja	Brzina	Viskoznost	Zakretni moment	Temperatura
Crna	100	1340,22	22,34	21,7
	100	1574,01	26,24	21,7
	100	1658,56	28,65	21,6
	100	2166,77	36,12	21,5
	100	2209,24	35,83	21,5
	100	2524,09	42,08	21,5
	100	3089,42	51,50	21,5
	100	2765,21	46,10	21,5
	100	2652,29	44,30	21,5
	100	2508,4	41,82	21,5
AS	100	2248,82	37,50	21,55

## 4.2. Kolorimetrijska razlika podtona ( $\Delta E_{00}^*$ )

### 4.2.1. Srednja vrijednost i standardna devijacija podtona

U prvoj fazi ispitivanja analizirana je brojčana vrijednost podtona na tiskovnim podlogama (komercijalni papiri, s vlakancima pšenice, s vlakancima ječma i s vlakancima pšenoraži) te je razlika prikazana u tablici 16.

Kako bi se bolje analizirao utjecaj viskoziteta boje s obzirom na kvalitativan parametar podtona, uspoređivane su srednje vrijednosti euklidske razlike inovativnih podloga s dodatkom žitarica ( $\Delta E_{00}^*_{3NP, 3NJ, 3NTR}$ ) i viskozitet svake boje.

Iz tablice 16. vidljivo je da najveću vrijednost parametra podtona sadrži cijan boja, dok je najmanja vrijednost dobivena kod otisaka nastalih s žutom bojom. Manja vrijednost viskoznosti cijan boje utječe na veću vrijednost kvalitativnog parametra podtona.

Tablica 16. Srednja vrijednost i devijacija UV bakrotiskarske boje

	<b>Cijan</b>	<b>Magenta</b>	<b>Žuta</b>	<b>Crna</b>
<i>K</i>	18,36 ± 1,65	11,00 ± 1,57	8,48 ± 0,55	17,54 ± 1,44
<i>3NP</i>	37,53 ± 4,15	10,97 ± 1,61	7,29 ± 0,55	12,52 ± 1,75
<i>3NJ</i>	28,89 ± 4,69	15,39 ± 1,59	10,36 ± 0,89	6,32 ± 0,82
<i>3NTR</i>	21,27 ± 4,53	14,60 ± 1,52	13,78 ± 1,02	21,36 ± 3,22
$\Delta E_{00}^*$ <i>3NP, 3NJ, 3NTR</i>	29,23	13,65	10,48	13,40

Vrijednosti parametra podtona kod otisaka nastalih bakrotiskarskom bojom na bazi otapala prikazane su u tablici 17 gdje su najveće vrijednosti podtona dobivene kod cijan otisaka, a najmanje kod žutih otisaka. Vidljiv je isti trend, manja viskoznost tiskarske boje, odnosno veća tečljivost boje ostvaruje veću vrijednost podtona.

Tablica 17. Srednja vrijednost i devijacija bakrotiskarske boje na bazi otapala

	<b>Cijan</b>	<b>Magenta</b>	<b>Žuta</b>	<b>Crna</b>
<i>K</i>	11,57 ± 1,49	7,45 ± 1,22	7,54 ± 0,60	10,81 ± 1,07
<i>3NP</i>	17,07 ± 2,48	10,66 ± 1,87	9,42 ± 2,05	20,12 ± 2,87
<i>3NJ</i>	15,99 ± 2,07	14,37 ± 1,30	3,89 ± 0,41	13,14 ± 1,26
<i>3NTR</i>	20,67 ± 2,00	12,92 ± 2,13	6,49 ± 0,82	17,90 ± 2,08
$\Delta E_{00}^*$ <i>3NP, 3NJ, 3NTR</i>	17,91	12,65	6,60	17,05

Iz tablice 18. koja prikazuje vrijednosti parametra podtona kod otisaka nastalih UV sušećom fleksografskom bojom vidljivo je kako vrijednost podtona kod cijan boje koja ima malu viskoznost sadrži najveće vrijednosti.

Tablica 18. Srednja vrijednost i devijacija UV fleksotiskarske boje

	<b>Cijan</b>	<b>Magenta</b>	<b>Žuta</b>	<b>Crna</b>
<i>K</i>	29,49 ± 2,54	46,33 ± 0,42	12,36 ± 0,47	40,43 ± 3,22
<i>3NP</i>	22,48 ± 3,91	13,82 ± 1,21	7,56 ± 1,20	16,22 ± 1,73
<i>3NJ</i>	24,16 ± 3,57	12,76 ± 1,08	7,99 ± 0,85	19,34 ± 3,15
<i>3NTR</i>	26,67 ± 6,93	15,26 ± 1,88	11,92 ± 1,23	19,45 ± 2,26
$\Delta E_{00}^*$ <i>3NP, 3NJ, 3NTR</i>	24,44	16,95	9,16	18,34

Rezultati parametra podtona prikazani u tablici 19. također potvrđuju kako vrijednost viskoznosti magente boje utječe na veličinu vrijednosti parametra podtona.

Tablica 19. Srednja vrijednost i devijacija fleksotiskarske boje na bazi vode

	<b>Cijan</b>	<b>Magenta</b>	<b>Žuta</b>	<b>Crna</b>
<i>K</i>	10,32 ± 0,91	11,08 ± 1,05	6,71 ± 0,54	7,66 ± 1,23
<i>3NP</i>	9,21 ± 1,28	9,63 ± 0,75	5,22 ± 0,40	9,95 ± 1,00
<i>3NJ</i>	9,12 ± 1,28	10,24 ± 0,96	6,04 ± 0,52	8,13 ± 1,02
<i>3NTR</i>	8,03 ± 1,13	8,62 ± 0,78	7,85 ± 0,75	7,78 ± 0,87
$\Delta E_{00}^*$ <i>3NP, 3NJ, 3NTR</i>	8,78	9,50	6,37	8,62

### 4.3. Vizualna analiza kvalitete

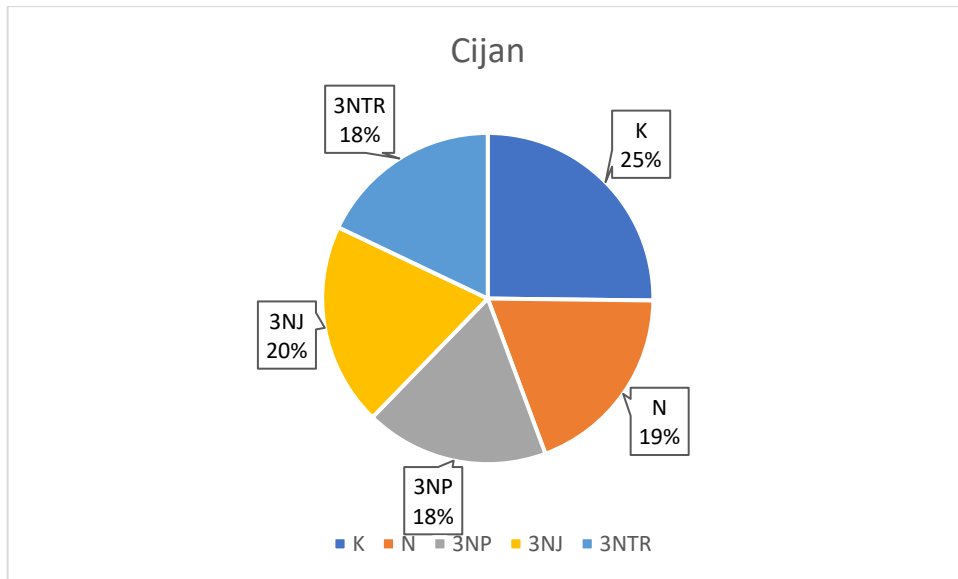
Kod svakog grafičkog proizvoda osim mjerne analize kvalitete vrlo bitna je i subjektivna analiza kvalitete, stoga je u ovom radu uključena i subjektivna, odnosno vizualna analiza kvaliteta otisaka. Vizualna analiza kvalitete provedene na 30 ispitanika pod standardiziranim osvjetljenjem D50. Kriterij vrednovanja bio je da ispitanici subjektivno donesu odluku o ukupnoj kvaliteti uzoraka. Otiscima su dane ocjene od 1 do 3 pri čemu ocjena 1 karakterizira najmanje kvalitetan otisak, ocjena 2 je za otisak srednje kvalitete, a ocjena 3 karakterizira otisak zadovoljavajuće (najbolje) kvalitete.

Iz analize vidljivo je da svi analizirani uzorci (tablice 20-27) ocjenjeni s podjednakom kvalitetom, pri čemu jedino cijan otisak sadrži bolju kvalitetu kod tiskovne podloge od drvnih vlakancima (N).

U tablici 20 vidljivo je kako je najveću ocjenu dobio komercijalni papir s drvnim vlakancima, dok su se ispitanici odlučili najmanju ocjenu dati laboratorijskim papirima s 30%-tnim udjelom vlakancima pšenice i pšenoraži.

Tablica 20. Prosječna vrijednost cijan bakrotiskarskih otisaka

<b>Cyan</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,67	2,03	1,90	2,10	1,90

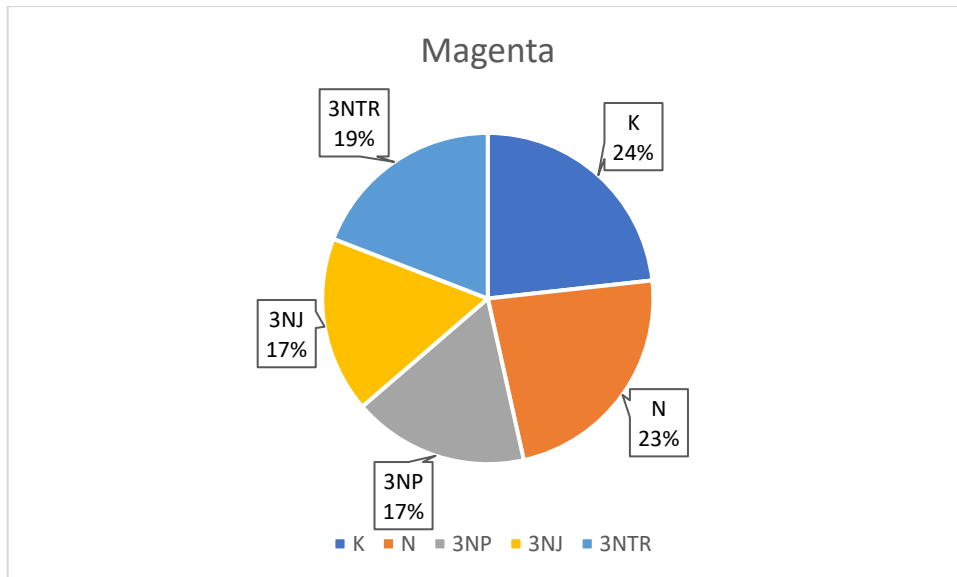


Slika 11. Prosjek vizualne analize cijan otisaka (bakrotisak)

Tablica 21 pokazuje da su se ispitanici najviše ocjene odlučili dati komercijalnom i laboratorijskom papiru s drvenim vlakancima, dok najmanju kvalitetu pokazuju otisci s 30%-tnim udjelom vlakancaca pšenice i ječma.

Tablica 21. Prosječna vrijednost magenta bakrotiskarskih otisaka

<b>Magenta</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,03	2,03	1,50	1,50	1,67

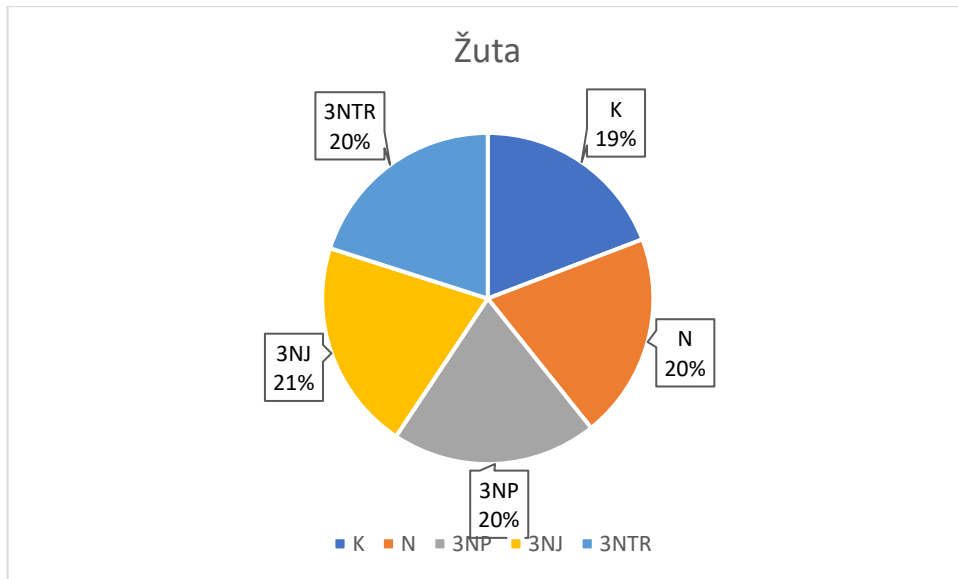


Slika 12. Prosjek vizualne analize magenta otisaka (bakrotisak)

Bakrotiskarski otisci sa žutom bojom pokazali su se kao izrazito kvalitetni. U tablici 22 vidimo kako su ispitanici najvišu ocjenu (prosječno 2.97) dali laboratorijskom papiru s 30%-tnim udjelom vlakanaca ječma, dok se kao najmanje kvalitetan pokazao komercijalni papir s drvenim vlaknima.

Tablica 22. Prosječna vrijednost žutih bakrotiskarskih otisaka

<b>Žuta</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,77	2,90	2,90	2,97	2,90

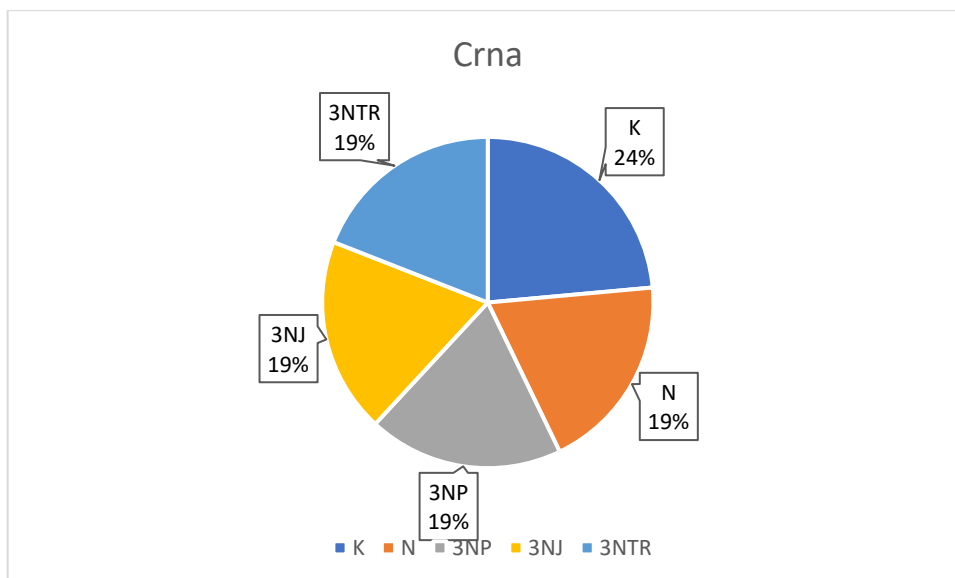


Slika 13. Prosjek vizualne analize žutog otisaka (bakrotisak)

Tablica 23 koja prikazuje otiske napravljene crnom bakrotiskarskom bojom možemo vidjeti kako su ispitanici kao najkvalitetnije otiske ocijenili one napravljene na komercijalnom papiru s drvenim vlakancima, dok su kao najmanje kvalitetne ocijenili sve 3 vrste laboratorijskim papira s inovativnim vlakancima.

Tablica 23. Prosječna vrijednost crnih bakrotiskarskih otisaka

<b>Crna</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,93	2,40	2,37	2,37	2,37



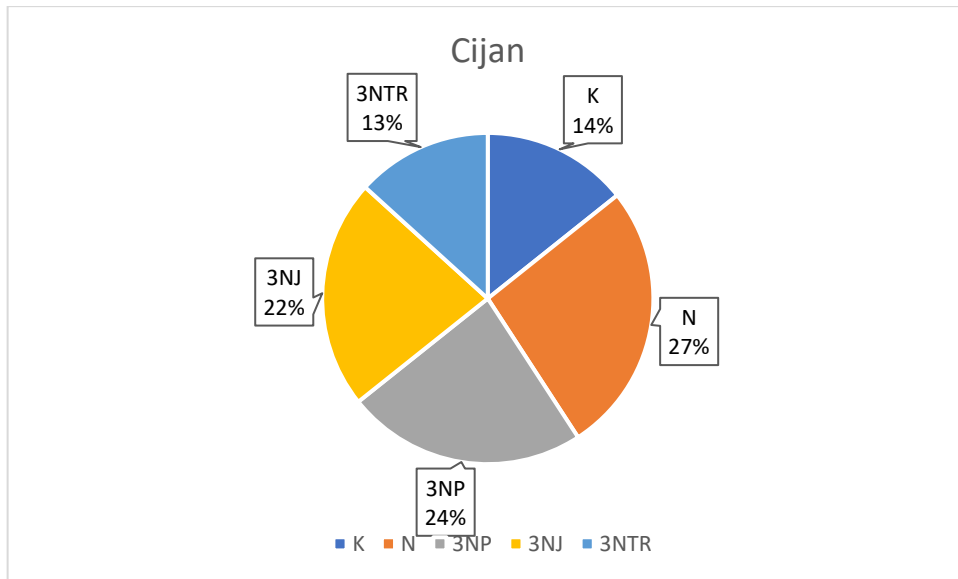
Slika 14. Prosjek vizualne analize crnog otisaka (bakrotisak)

U tablici 24 vidimo cijan otiske napravljene tehnikom fleksografskog tiska. Najveću ocjenu dobili su otisci na laboratorijskom papiru s drvenim vlaknima, dok su najmanju ocjenu dobili laboratorijski papiri s 30%-tnim udjelom vlakana pšenoraži.

Tablica 24. Prosječna vrijednost cijan fleksografskih otisaka

<b>Cyan</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	1,40	2,60	2,30	2,20	1,30





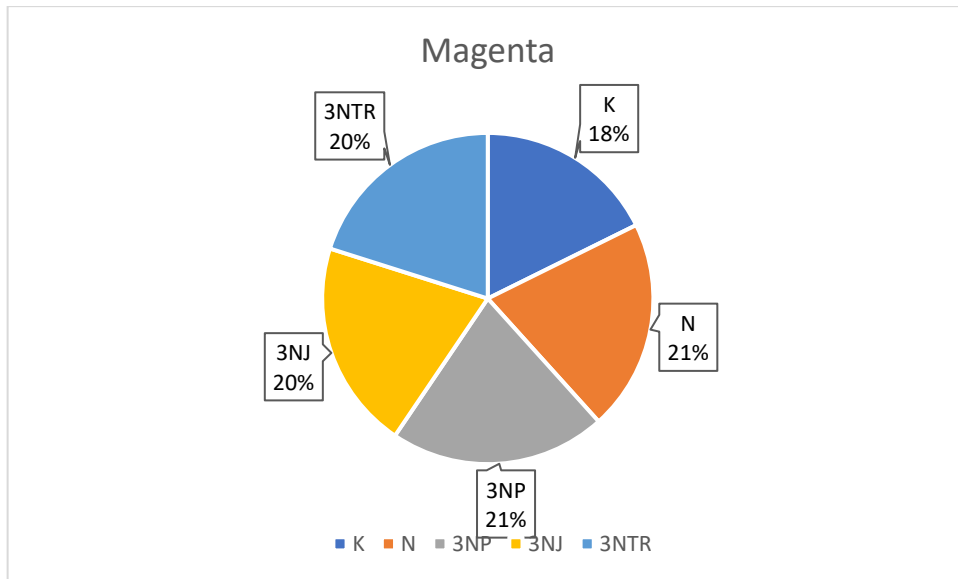
Slika 15. Prosjek vizualne analize cijan otisaka (fleksotisak)

Tablica 25 prikazuje rezultate vizualne analize fleksografskih otisaka napravljenih magentom. Svi otisci su izrazito visoke kvalitete, ali najvišu ocjenu dobio je laboratorijski papir s 30%-tnim udjelom vlaknaca pšenice, dok je najnižu ocjenu dobio komercijalni papir s drvenim vlaknima.

Tablica 25. Prosječna vrijednost magenta fleksografskih otisaka

**Magenta K N 3NP 3NJ 3NTR**

<b>Prosjek</b>	2,40	2,80	2,87	2,77	2,73
----------------	------	------	------	------	------

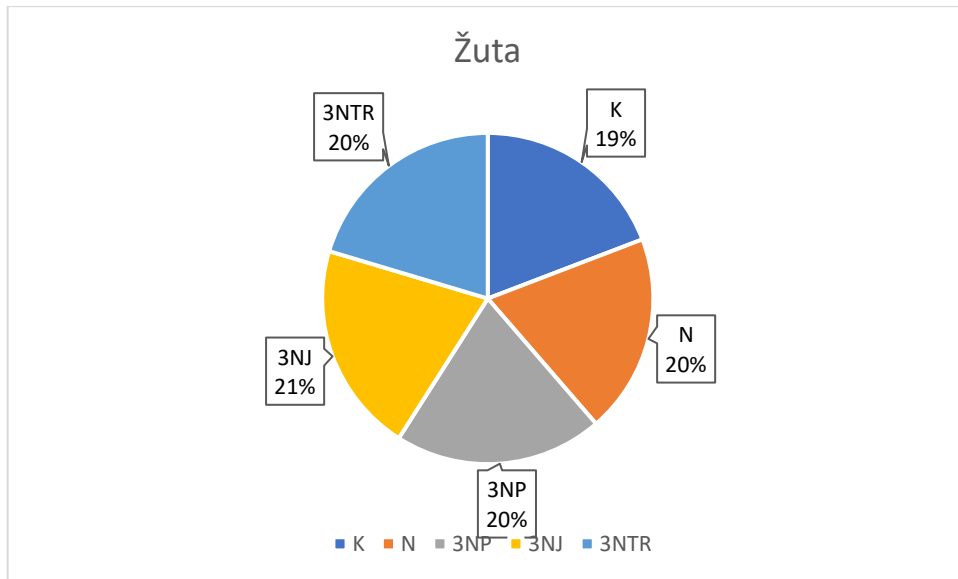


Slika 16. Prosjek vizualne analize magenta otisaka (fleksotisak)

Kao i kod bakrotiskarskih otisaka, tako i kod fleksografskih otisaka, svi otisci napravljeni žutom bojom pokazali su se kao izrazito kvalitetni, tj. Najmanje promjena se vidi žutim otiscima. Najveću ocjenu dobili su otisci na laboratorijskim papirima s 30%-tnim udjelom vlakana pšenice, dok je najmanju ocjenu dobio komercijalni papir sa drvenim vlaknima.

Tablica 26. Prosječna vrijednost žutih fleksografskih otisaka

<b>Žuta</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,73	2,77	2,90	2,93	2,90

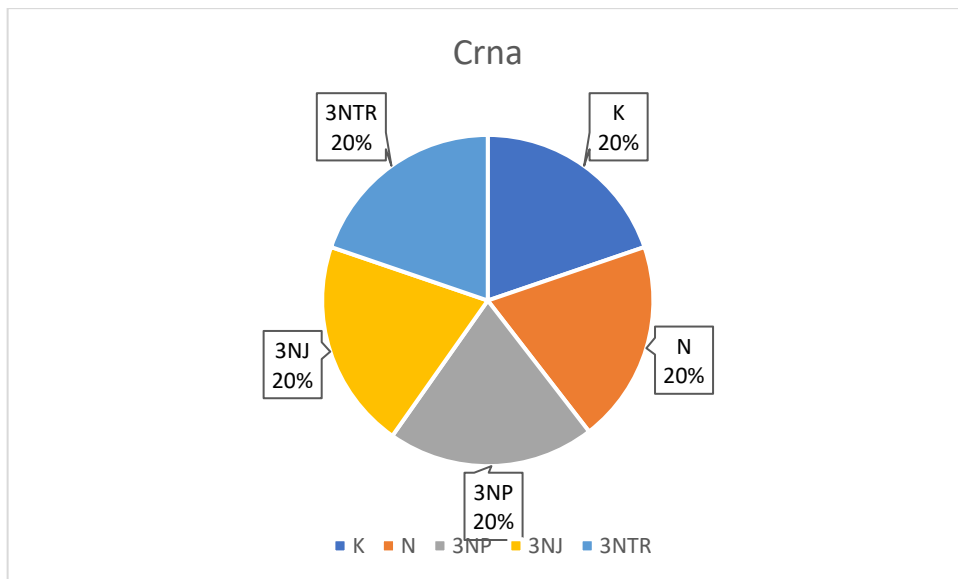


Slika 17. Prosjek vizualne analize žutih otisaka (fleksotisak)

U tablici 27 koja prikazuje crne otiske napravljene fleksografskim tiskom je vidljivo kako su ti otisci ipak najkvalitetniji. Najvišu ocjenu dobili su laboratorijski papiri s 30%-tnim udjelom vlakana pšenice, dok su najmanju ocjenu (ali ipak izrazito visoke kvalitete) dobili komercijalni i laboratorijski papiri s drvenim vlaknima i laboratorijski papir s 30%-tnim udjelom pšenoraži.

Tablica 27. Prosječna vrijednost crnih fleksografskih otisaka

<b>Crna</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>3NP</b>	<b>3NJ</b>	<b>3NTR</b>
<b>Prosjek</b>	2,87	2,87	2,90	2,93	2,87



Slika 18. Prosjek vizualne analize crnih otisaka (fleksotisak)

## 5. ZAKLJUČAK

Nakon izrađene analize kojom se je ispitivao utjecaj viskoznosti fleksografskih i bakrotiskarskih boja na kvalitetu otiska na tiskovnim podlogama s ne-drvnim vlakancima donešeni su sljedeći zaključci:

- Vrijednost viskoznosti boje izravno utječe na penetraciju boje kroz tiskovnu podlogu, odnosno na vrijednost kvalitativnog parametra podtona.
- Preporuka je da se analizirani otisci na tiskovnim podlogama s ne-drvnim vlakancima radi velike vrijednosti podtona koriste u punom tonu kod jednobojnih otiskivanja.
- Inovativne tiskovne podloge s novim izvorima vlakanaca daju jednako kvalitetne otiske kao i kod komercijalnih papira s drvnim vlakancima.

Ovim radom se potvrđuje jednaka uporabljivost inovativnih laboratorijskih papira s ne-drvnim vlakancima kao i papira s drvnim vlakancima.

## 6. LITERATURA

[1] Jamnicki Hanzer, Sonja: Nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, 2019., Zagreb

Read more at: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3290140/mod\\_resource/content/1/Opca%20svojstva%20tiskarski%20boja\\_reologija.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3290140/mod_resource/content/1/Opca%20svojstva%20tiskarski%20boja_reologija.pdf) (16.2.2022.)

[2] <https://physics.info/viscosity/> (16.2.2022.)

[3] <https://schoolworkhelper.net/what-is-viscosity-application-flow-factors/> (18.2.2022.)

[4] Ofsetni tisak. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.

Read more at: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=44816> (28.2.2022.)

[5] Majnarić, Igor: Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Grafički fakultet, 2004., Zagreb

Read more at: [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/MR%20rad%20Igor%20Majnari%20c.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MR%20rad%20Igor%20Majnari%20c.pdf) (28.2.2022.)

[6] <https://www.starlabel.com/blog/flexography/> ()

[7] „[4 Types of Flexographic Inks & When to Use Them](https://blog.luminite.com/blog/4-types-of-flexographic-inks-when-to-use-them)“. *Luminite*.

Read more at: <https://blog.luminite.com/blog/4-types-of-flexographic-inks-when-to-use-them> (7.3.2022.)

[8] bakrotisak. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.

Read more at: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=5391> (16.3.2022.)

[9] [http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB\\_duboki%20sito.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_duboki%20sito.pdf) (18.3.2022.)

- [10] <https://www.sharprint.com/blog/bid/100615/the-advantages-and-disadvantages-of-water-based-ink> (30.3.2022.)
- [11] <https://www.kymc.com/webls-tran-c/msg/msg66.html> (30.3.2022.)
- [12] Flexography: Principles and Practices, 5th Edition, Foundation of Flexographic Technical Association, Inc., Ronkonkoma, NY, 1999.
- [13] [https://www.heraeus.com/en/hng/industries\\_and\\_applications/uv\\_ir\\_af\\_applications/drying\\_and\\_curing\\_of\\_coatings\\_with\\_uv\\_and\\_infrared.html](https://www.heraeus.com/en/hng/industries_and_applications/uv_ir_af_applications/drying_and_curing_of_coatings_with_uv_and_infrared.html) (6.4.2022.)
- [14] Bates, Irena: Otiskivanje, kvaliteta i uporabljivost podloga s ne-drvnim vlakancima, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet 2018, Zagreb  
Read more at: <https://hrzz.hr/otiskivanje-kvaliteta-i-uporabljivost-podloga-s-ne-drvnim-vlakancima/> (7.4.2022.)
- [15] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mechanical-pulping> (26.4.2022.)
- [16] <https://www.agroklub.com/sortna-lista/zitarice/jecam-95/> (10.5.2022.)
- [17] <https://eprints.grf.unizg.hr/1977/1/Doktorski%20rad%20Plazonic%20Ivana.pdf> (11.5.2022.)
- [18] [https://www.geass.com/wp-content/uploads/filebase/fungilab/viscosimetri/rotazionali/viscolead\\_one/Manual\\_e-Viscosimetro-Fungilab-Viscolead-ONE-en.pdf](https://www.geass.com/wp-content/uploads/filebase/fungilab/viscosimetri/rotazionali/viscolead_one/Manual_e-Viscosimetro-Fungilab-Viscolead-ONE-en.pdf) (12.5.2022.)
- [19] <https://www.gltinfo.com/proizvod/esiproof/> (17.5.2022.)
- [20] <https://www.igt.com.sg/products/details/igt-printability-tester-f1-f1-basic-f1-uv-f1-corrugated-f1-100> (27.5.2022.)
- [21] <https://packmarket.net/product/din-cup-viscosity-measurement/> (2.6.2022.)
- [22] <https://labomat.eu/gb/automatic-ink-applicators/96-kpp-automatic-ink-applicators.html> (3.6.2022.)