

# Svojstva recikliranih tiskovnih papira

---

**Dujmović, Mihaela**

**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:216:888918>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Mihaela Dujmović



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

# ZAVRŠNI RAD

## SVOJSTVA RECIKLIRANIH TISKOVNIH PAPIRA

Mentor :

Doc.dr.sc. Maja Strižić Jakovljević

Student :

Mihaela Dujmović

Zagreb, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET**  
**Getaldićeva 2**  
**Zagreb, 6. 7. 2023.**

Temeljem podnietog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

## **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Mihaeli Dujmović, JMBAG 0128065538, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Svojstva recikliranih tiskovnih papira, pod mentorstvom doc. dr. sc. Maje Stržić Jakovljević.

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

1. prof. dr. sc. Lozo Branka, predsjednik/ica
2. doc. dr. sc. Stržić Jakovljević Maja, mentor/ica
3. izv. prof. dr. sc. Jamnicki Hanzer Sonja, član/ica

  
Dekan  
  
Prof. dr. sc. Klaudio Pap

## SAŽETAK

Smatra se da je papir prvi puta proizveden u Kini u prvom stoljeću pr.n.e., a danas mu je u svijetu upotreba široko rasprostranjena. Bez obzira na vrijeme digitalizacije u kojemu živimo, papir je materijal koji nam je prijeko potreban za tiskanje, pisanje, izradu ambalaže i slično. Osnovni materijali od kojih se dobiva papir su vlakna, kod kojih glavnu ulogu nosi celuloza, te razni dodaci. Proizvodnja papira odvija se na papir – stroju. Taj proces se strogo nadgleda kako bi se unaprijed predvidjele poteškoće i tako postigla željena kvaliteta. Zbog povećane potrošnje sirovina za izradu papira, recikliranje papira postaje sve važnija praksa u kontekstu očuvanja prirode i okoliša, uštede na financijama i energiji. Cijeli postupak recikliranja papira sustavan je i organiziran te mu se prilazi vrlo ozbiljno, putem nastojeći poboljšavati tehnološke procese izrade kako bi se ostvarili najbolji rezultati. U radu su provedena ispitivanja općih, mehaničkih, optičkih i površinskih svojstava tržišno dostupnih recikliranih papira viših gramatura. Putem navedenih ispitivanja će se istražiti njihova pogodnost za tisak i ambalažu, te utvrditi uporabna vrijednost s obzirom da se mogu reciklirati i do nekoliko puta.

Ključne riječi: papir, sirovine, proizvodnja, recikliranje

## **ABSTRACT**

It is believed that paper was first produced in China in the 1st century BCE, and today its use is widespread around the world. Despite the digital age we live in, paper is a material that is still essential for printing, writing, packaging, and more. The basic materials used in paper production are fibers, with cellulose playing a major role, along with various additives. Paper production takes place on a paper machine. This process is closely monitored to anticipate difficulties in advance and achieve the desired quality. Due to increased consumption of raw materials for paper production, paper recycling has become an increasingly important practice in terms of nature and environmental conservation, financial savings, and energy efficiency. The entire paper recycling process is systematic and organized, and it is approached very seriously in order to improve the technological processes involved and achieve the best results. The study conducted tests on the general, mechanical, optical, and surface properties of commercially available recycled papers. Through these tests, their suitability for printing and packaging will be investigated, and their practical value will be determined considering that they can be recycled multiple times.

**Keywords :** paper, raw materials, production, recycling

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. Povijesni pregled proizvodnje papira .....	2
3. Sirovine za proizvodnju papira.....	3
4. Proces proizvodnje papira .....	5
4.1. Priprema pulpe .....	5
4.2. Izrada papira.....	6
4.3. Dorada papira .....	7
5. Dodaci u proizvodnji papira .....	7
5.1. Punila.....	7
5.2. Keljiva.....	7
5.3. Bojila.....	8
6. Vrste i podjele papira.....	8
6.1. Pisaći papiri.....	8
6.2. Tiskovni papiri .....	9
6.3. Omotni papiri .....	9
6.4. Specijalni papiri .....	9
7. Svojstva papira za tisak .....	10
7.1. Opća svojstva .....	10
7.2. Svojstva površine .....	10
7.3. Mehanička svojstva.....	11
7.4. Optička svojstva .....	12
8. Recikliranje papira.....	13
9. Promjene svojstava recikliranog lista papira.....	15
10. Prednosti i nedostaci recikliranog papira.....	16
11. EKSPERIMENTALNI DIO .....	17
11.1. Materijali .....	17
11.2. Metode.....	22
11.3. Rezultati i rasprava .....	31
12. ZAKLJUČAK.....	39
13. LITERATURA .....	40

## 1. UVOD

Papir je proizvod dobiven iz razrijeđene suspenzije celuloznih vlakana u vodi koju nazivamo papirna pulpa. Papir se može proizvoditi iz: celuloze, pamuka i recikliranih vlakana. Unatoč popularnosti digitalnih medija, papir je materijal čija je upotreba i dalje široko rasprostranjena i koristi se za tiskanje, pisanje, crtanje te za izradu ambalaže.

Nedostatak sirovina za proizvodnju papira uvjetuje recikliranje papira kao standardnu praksu. Recikliranjem se postiže ušteda energije, financijskih sredstava te možda i najvažniji dio – čuva se priroda. Iako je papir moguće reciklirati i do nekoliko puta, potrebno je razmišljati o zadržavanju pritom optimalnih svojstava papira koje su preduvjet kvalitetne reprodukcije i pratećih procesa u grafičkoj struci. Izgled recikliranih papira razlikuje se od standardnih papira, no te razlike ne moraju predstavljati smetnju u kvaliteti papira jer sve češćom praksom recikliranja papira postaju dio standarda.

Ovaj završni rad sadrži dva dijela. Prvi dio su teorijska znanja o papiru, vlaknatim sirovinama, dodacima, proizvodnji papira, te detaljnije o recikliranom papiru, njegovim svojstvima, prednostima i nedostacima. Drugi dio rada obuhvaća eksperimentalni dio gdje će se ispitati četiri vrste nepremazanih recikliranih papira koji su tržišno dostupni. Uz mikroskopiranje i utvrđivanje debljine papira, ispitat će se optička svojstva papira, glatkost prema Bekk metodi i otpornost papira na savijanje prema Taber metodi. Utvrđivanjem navedenih svojstava na temelju eksperimenata moći će se odrediti pravilna prerada i rukovanje ispitivanih papira tijekom čitavog procesa tiska i dorade. Cilj ovog rada je kroz navedena ispitivanja utvrditi svojstva recikliranih papira, njihove razlike sa tradicionalnim papirima te njihovu pogodnost za tisak i ambalažu.



## 2. Povijesni pregled proizvodnje papira

U prošlosti su se narodi koristili raznim sredstvima kako bi ostavili pisani trag. Rimljani su pisali na unutarnjoj glađoj strani kore drveta, Sumerani i Egipćani na glinenim pločicama, a Kinezi na svili. Mnoge civilizacije su svoje pismene tragove ostavljale na pergamentu – prepariranog ovčjoj koži čija su svojstva bila vrlo povoljna za ovu praksu i zato je pergament u Europi korišten sve do izuma tiskarskog stroja. Listovi palme također su bili u širokoj upotrebi i od njih nam je danas poznat izraz „list“ za stranicu u knjizi. Palmine listovi su se bušili s lijeve i desne strane lista i uvezivali drvenim pločama koje su često bile oslikane ili ukrašene izrezbarenim uzorcima. Palmine listovi bili su ispisani i s jedne i s druge strane, a zbog trošenja lišća, pisari su uvijek ostavljali široku marginu. Jedan od najstarijih materijala za pisanje je i brezova kora na kojoj su još dugo nakon početka korištenja papira pisali Indijci. [1]

Još za vrijeme korištenja pergamenta i papirusa pojavio se jeftiniji materijal za pisanje – papir. Smatra se da je papir prvi put proizveden u prvom stoljeću pr.n.e. u Kini. Za sirovine su se koristila vlakna biljaka kao što su : rižina slama, kore dudova drveta, konoplja, bambus i dr. Te sirovine majstori su usitnjavali uz pomoć kamenih mlinova dok su otopinu vapna dodavali vlaknu. Na četvrtasta sita koja su bila izrađena od bambusa i svilenih niti prenosili su napravljenu kašu i tako oblikovali sloj vlaknaca ravnomjerne debljine. Listovi su se zatim skidali sa sita i postavljali na daske kako bi se sušili. Papir je postizao sjaj premazivanjem, ponovnim sušenjem te glačanjem slonovom kosti. Danas se i dalje papir ručno izrađuje u Kini. To su posebne vrste papira koji se prodaju po visokim cijenama za izradu luksuznih zbirki i mapa. U vrijeme ratnih sukoba, kada su Arapi zarobili Kineze, počinje arapska proizvodnja papira. Oni su je unaprijedili novom sirovinom – lanom. Vlakna su usitnjavali u mlinovima, a sito im je bilo načinjeno od metalnih niti. Takav proces izrade je bio vrlo naporan i dugotrajan stoga se u 18. stoljeću pojavljuje novinski tisak sa željom ubrzavanja postupka izrade. Također, Arapi su prvi počeli sa izradom obojenih papira, a svoju proizvodnju su strogo nadzirali. U narednim ratnim godinama se još uvijek ručna proizvodnja papira širi Europom. Prve radionice započinju u Španjolskoj, dok su u Hrvatskoj radionice nastale početkom 18. stoljeća. Prva radionica u Hrvatskoj je osnovana u Sušaku davne 1880. godine. Veliki iskorak dogodio se 1799. godine u Francuskoj kada je prvi stroj za proizvodnju papira u traci

započeo s radom. To je bio tehnički napredak koji je manufakturu pretvorio u industrijsku izradu. [2]

U Hrvatskoj industrijska proizvodnja započinje u Rijeci. Tvornicu papira Rijeka (Slika 1) osnovao je poduzetnik Andrija Ljudevit Adamić. Godine 1833. započinje industrijska proizvodnja postavljanjem prvog parnog stroja na Balkanu. Tvornica papira Rijeka je uspješno poslovala 180 godina, te se ugasila 90-tih godina prošloga stoljeća. [3]



*Slika 1: Tvornica papira Rijeka [3]*

### **3. Sirovine za proizvodnju papira**

Papir je materijal izrađen od isprepletenih celuloznih vlaknaca. Može se proizvoditi iz celuloze, pamuka, recikliranih vlakana te drugih sirovina. Pod pojmom papir obuhvaća se i karton i ljepenka. Papir se industrijski proizvodi na papir – stroju u kontinuiranoj traci iz razrijeđene suspenzije celuloznih vlakana u vodi koja se naziva pulpa. Osnovni sastojci za dobivanje papira su vlakna i dodaci.

Vlakna mogu biti biljnoga porijekla, životinjskog porijekla te sintetska i mineralna vlakna. Vlakna biljnoga porijekla dobivaju se iz višegodišnjih biljki tj. drva i jednogodišnjih biljki tj. slama. Vunena vlakna spadaju pod vlakna životinjskoga

porijekla. Sintetska vlakna su razni sintetski polimeri od kojih se izrađuje papir i mogu se koristiti samostalno za izradu papira. Mineralna vlakna su staklena vlakna. [1]

Punila, keljiva i bojila su jako važna pomoćna sredstva u izradi papira. Svaki od tih dodataka ima svoju posebnu ulogu u poboljšavanju svojstava papira. Celuloza je najvažniji sastojak biljnih vlakana u proizvodnji papira. Kada govorimo o strukturi biljnih vlakana važno je napomenuti da one imaju staničnu šupljinu, takozvani lumen, kojega okružuju stijenke. Stijenke prema slojevima mogu biti primarna, sekundarna i tercijarna. Primarna stijenka je vanjska stijenka i ona graniči s lamelama – poveznicama između vlakana, a tercijarna stijenka je unutarnja i ona graniči s lumenom. U lamelama se nalazi lignin koji služi za povezivanje vlakana i doprinosi čvrstoći samoga drveta. Zbog lignina papir s vremenom mijenja boju u žutu. Zbog toga ga je u postupku prerade celuloze potrebno odvojiti što je više moguće, ali ga nikada nije moguće izdvojiti u potpunosti. Sekundarnu stijenkicu grade mikrofibrili u kojima se nalaze miceli – male kristalinične nitaste tvorevine koje su sastavljene od više celuloznih molekula.

Osnovne vlaknate sirovine za proizvodnju papira su : drvenjača, tehnička celuloza, polutvorina i stari papir. Svaka od nabrojanih sirovina dobiva se posebnim načinom prerade i za svaku je potrebno prirediti pulpu. [1]

Drvenjača je usitnjeno drvo dobiveno brušenjem. Takav način dobivanja čestica koristi se još od 19. stoljeća zbog naglog razvoja proizvodnje papira i nedostatka ostalih sirovina. Drvo se priprema tako da se prvo skida kora, zatim očišćeno drvo ide u stroj u kojemu se brusi. Karakteristike dobivene bruševine ovise o strukturi brusokoga kamena u stroju, brzini kojom se vrti, temperaturi brušenja itd. Prema podijeli razlikuje se bijela i smeđa drvenjača. Drvenjača je u proizvodnji dodatno vlakno celulozi za jeftinije papire, a takvi papiri nisu otporni na utjecaj dnevnog svjetla te u kratkom vremenu požute.

Celuloza je najrasprostranjeniji organski spoj u prirodi. Nalazi se u krutom stanju, bez okusa i mirisa i uglavnom je bijele boje. Vrlo je otporna na atmosferilije. Gledano prema kemijskom sastavu, ona je prirodni polimer i pripada skupini polisaharida. Pretpostavka je da se od ukupni broj proizvedene celuloze 90% dobiva iz drveta. Osim za izradu papira koristi se i za izradu svile, celofana te u proizvodnji boja i lakova.

Polutvorina je vlaknasti poluproizvod koji se dobiva preradom tekstila, krpa i rublja. Ima izrazito dobra mehanička svojstva i vrlo visoki stupanj bjeline s obzirom da se nakon

mehaničke i kemijske obrade vlakna ispiru i redovito izbjeljuju. Zato se polutvorina koristi za proizvodnju najkvalitetnijih bijelih papira i kartona kao što su cigaretni papir i vrijedosni dokumenti. [2]

Stari papir je sekundarna vlaknata sirovina koja se koristi za izradu recikliranog papira.

## **4. Proces proizvodnje papira**

Proizvodnja papira vrlo je složen proces i sastoji se od velikog broja operacija od kojih svaka ima važnu ulogu za dobivanje gotovog proizvoda. Međutim, sve te operacije se mogu podijeliti na tri osnovne skupine: priprema pulpe, izrada papira te dorada papira.

### **4.1. Priprema pulpe**

U ovome procesu se obrađuju vlakna, kojima se dodaju dodaci te se navedeni zajedno objedinjuju. Vlakna se prosušuju na 90% i smještaju se u skladišta ili odmah idu u proizvodnju. Što se tiče drvenjače, celuloze i poluceluloze, te sirovine se prvo potapaju u vodu i nakon toga idu na raspuštanje veza između vlakana. To se radi s posebnim uređajima tzv. raspuštačima. Za stari papir se zbog teže obrade u ovom postupku koriste i dodatni raspuštači. Vlakna se nakon toga podvrgavaju mljevenju jer bez toga ne bi mogla zadovoljiti ni osnovne zahtjeve. Mljevenje je jedna od najvažnijih operacija i o njoj ovisi daljnji uspjeh u preradi papira. Mljevenjem se postiže uzdužno razdvajanje i skraćivanje na određenu dužinu, a vrši se u vodenoj suspenziji vlakana. Odvija se u mlinovima u kojima vlakna prolaze kroz sustav pokretnih i nepokretnih noževa, rotora i statora. Mljevenje se može odvijati u niskom stupnju ili intenzivnom stupnju kojim se izrađuju tvrdi papiri. U suvremenim pogonima koriste se mlinovi s diskom jer omogućuju mljevenje gušćih vlakana s manje potrošene energije. Nakon mlina, iz vlakana se izdvajaju nečistoće pomoću centrifugatora. Oni rade na principu protoka suspenzije vlakana pod velikim pritiskom te se uz djelovanje centrifugalne sile uklanjaju nečistoće iz vlakana. Na kraju pripreme pulpe, vlaknima se dodaju keljiva, punila, optička bjelila, bojila i drugi dodaci koji doprinose svojstvima papira. [2]

## 4.2. Izrada papira

S obzirom da se u prošlosti papir proizvodio ručno, 1799. godina je bila prekretnica prema boljitku ove industrije. Uz pomoć strojne izrade papira, koja se te godine počela koristiti, počinju se zadovoljavati potrebe brzine i kvalitete. Ti strojevi koji su dugački oko stotinu metara, imaju širinu papirne trake i preko 10 metara, proizvode više od 1000 m papirne trake u minuti te izrađuju razne vrste papira (Slika 2). Strojevi sadrže : uređaj za razdjeljenje i natok pulpe, sustav za odvodnju papirne mase i traku na dugom situ, mokre preše, valjke i ostale uređaje. Uređajem za razdjeljenje i natok pulpe se jednako nanosi cijela masa po radnoj širini i tako se postiže ravnomjernost materijala. Pulpa prvo dolazi na prednji dio sita koji se naziva natok i predstavlja prvi kontakt pulpe sa strojem. Sito je glavni uređaj koji se nalazi na prednjem dijelu stroja, a izrađeno je od metalnih niti ili plastične mase. Papirna masa se pod tlakom lijeva na napeto sito koje se kreće u smjeru izrade papirne trake, te se i vlakanca počinju kretati u tom istom smjeru. Na kraju sita je traka još uvijek vlažna ali je dovoljno čvrsta za prelazak u skupine mokrih preša gdje se istiskuje zaostala voda. Kako se list formira na situ, dolazimo do pojma dvostranosti papira. Gornja strana koja ima najbolji sadržaj punila je takozvana pustena, a donja hrapavija strana s manje punila se naziva sitena.

Sušna skupina je sljedeći dio u koji ulazi papirna traka. Nju čine šuplji valjci glatke površine koji suše papir do čak 94%. Zatim slijedi suho glačanje za dobivanje glatkih papira. Svi ovi postupci su pod nadzorom kako bi se na vrijeme dijagnosticirale poteškoće ili kvarovi. Na taj način se postiže uspješnost u procesu proizvodnje papira. [2]



Slika 2: Stroj za proizvodnju papira [2]

### **4.3. Dorada papira**

Proces dorade odvija se u stražnjem dijelu stroja, nakon što papirna traka izađe iz sušne skupine. Završne radnje u doradi uključuju: satiniranje, hlađenje i namatanje u koture. Što se tiče same dorade, tu se podrazumijevaju promjene i poboljšanja svojstava papira te se njoj podvrgavaju mnogi papiri. Ona se najčešće izvršava zbog prilagodbe u višebojnom tisku i izradi grafičkih proizvoda. [2]

## **5. Dodaci u proizvodnji papira**

Najvažniji dodaci tijekom proizvodnje papira su punila, keljiva i bojila. Najčešće se dodaju papiru tijekom trajanja procesa proizvodnje, no ponekad se dodaju i na kraju u obliku površinskog premaza.

### **5.1. Punila**

Punila se sastoje od mineralnih tvari koja papiru poboljšavaju određena svojstva. Imaju veliku važnost u suvremenoj proizvodnji jer bez njih ne bi postojali određeni papiri kojima punila daju potrebna svojstva. Punila povećavaju opacitet tankih papira, glatkost i sjajnost, te stupanj bjeline. Također, papiri s punilima uvelike bolje primaju tiskarsku boju nego papiri bez istih. Najčešća punila su silikati, sulfidi, sulfati, oksidi i karbonati te oni moraju biti kemijski neutralni u odnosu na ostale komponente. [4]

### **5.2. Keljiva**

Keljiva su organski dodaci kojima se postiže hidrofobnost i bolje povezivanje vlakana u listu papira. Postoji podjela na : punokeljene, polukeljene, i nekeljene papire. Punokeljenim papirima dodaje se 1,5 do 4% keljiva, a polukeljenim 0,5 do 1%. Prema načinu keljenja razlikujemo keljenje dodavanjem u suspenziju kod kojeg se postiže keljenje cijelom dubinom lista, te površinsko keljenje gdje se keljivo nanosi na već osušenu papirnu traku. Za postizanje hidrofobnosti najčešće se koriste: kolofonij, silikoni, lateks i sintetska keljiva, a za povezivanje vlakana: škrob, keljiva životinjskog porijekla,

kazein, sojin protein i sl. Kolofonij je tvar koja se najčešće dodaje suspenziji. To je prirodna smola biljnog porijekla žuto-smeđe boje. Ima velik stupanj hidrofobnosti zbog čega je jako povoljan u ovoj praksi, ali je i vrlo skup jer je porast proizvodnje izazvao manjak ove smole. [4]

### **5.3. Bojila**

Bojila su dodaci koji dolaze u masu prilikom izrade papira. Služe za povećavanje bjeline kod bijelih papira i kod izrade papira u boji. Dijelimo ih u tri skupine : anorganska, organska i sintetska bojila. Najviše se upotrebljavaju organska sintetska bojila jer imaju veliku raznolikost boja i veliku postojanost. Početkom tridesetih godina pojavljuju se sredstva koja omogućuju dojam iznimno bijele površine zbog djelomične apsorpcije UV zračenja – optička bjelila. Danas na tržištu postoji širok spektar optičkih bjelila različitog kemijskog sastava. Najbitnije kod njih je stupanj bjeline vlaknine, jer što je on veći – veći je učinak optičkog bjelila. [4]

## **6. Vrste i podjele papira**

Što se tiče raznovrsnosti, postoje različite vrste papira i kartona. Papir treba sadržavati određeni sastav vlakana i određena svojstva ovisno za koju je namjenu. Postoji osnovna podjela papira koja je sljedeća: pisaći papiri, tiskovni papiri, omotni papiri i specijalni papiri.

### **6.1. Pisaći papiri**

Papiri visokog stupnja keljenja i glatkoće. Također ih karakterizira slabo upijanje pa tako ništa ne smije prodirati na drugu stranu ove vrste papira. Pisaći papiri moraju biti bijeli stoga se za njihovu izradu koriste i optička bjelila. [4] Većinski su to srednje fini i bezdrvni papiri kod kojih je vrlo važna otpornost na brisanje bez da se pritom ošteti površina papira. Najveću primjenu imaju u proizvodnji blokova, bilježnica, tiskanica i sl. [2]

## **6.2. Tiskovni papiri**

Obuhvaćaju različite vrste papira. U tiskovne papire pripadaju: papiri za knjigotisak, duboki tisak, ofsetni tisak, umjetnički tisak, novinski papiri i drugi. Površina takvih papira mora biti čvrsta i otporna. [4] Bez obzira na razlike, svi tiskovni papiri moraju zadovoljavati određene važne uvjete, a to su: ujednačena debljina arka ili trake papira, ravnomjerno prihvaćanje boje u procesu tiska, optimalna vlažnost, glatkost površine i ravnomjeran odnos svih sastojaka u strukturi samoga papira. Kod tiskovnih papira se uvijek mora paziti na transport, prijenos i skladištenje kako bi se izbjegla moguća oštećenja papira. [2]

## **6.3. Omotni papiri**

Vrlo čvrsti i otporni papiri, svjetlo smeđe boje. Imaju dobra mehanička svojstva te se zbog toga uvelike koriste kao ambalaža. Predstavnici ove vrste papira su: šrenc, superior i natron papir.

## **6.4. Specijalni papiri**

Naziv su dobili prema posebnim svojstvima koja uvjetuju, a to su: otpornost prema kidanju, nepropusnost na zrak ili vodu, termostabilnost itd. Sve te potrebe zadovoljavaju se izborom pravih sirovina, načinom mljevenja, odabirom dodataka i na kraju završnom doradom. [4]



## **7. Svojstva papira za tisak**

### **7.1. Opća svojstva**

Opća svojstva ispitivanja papira podrazumijevaju određivanje debljine papira, gramature papira, prostorne mase i specifičnog volumena. U ovom dijelu rada objasniti će se debljina papira koja se i provodila u eksperimentalnom dijelu rada.

Debljina papira, kartona i ljepenke određuje se zbog više razloga. Njome se kontrolira ujednačenost listova papira u proizvodnji, uz pomoć nje izračunavamo prostornu masu papira te je važna pri kontroli proizvodnje specijalnih papira. Prema definiciji, debljina papira je udaljenost između paralelnih površina lista papira. Debljina papira, kartona i ljepenke određuju se na uređaju koji se zove mikrometar, ulaganjem uzoraka između dviju paralelnih metalnih mjernih ploha. Mjerenje se provodi prema standardima : Tappi T 411 ili ISO 534:2011. Što se tiče površina između kojih se mjerenje vrši, one bi trebale biti paralelne, glatke i moraju pritiskati jedna drugu pod stalnim opterećenjem od  $1 \pm 0,10$  kp/cm<sup>2</sup>. Također, dobro je prije mjerenja provjeriti jesu li mjerne površine čiste kako nebi došlo do pogrešnih vrijednosti ispitivanja debljine papira. Potrebno je izvršiti najmanje 20 mjerenja kako bi se dobila prosječna debljina ispitivanih uzoraka. Postoje dva tipa mjerenja debljine papira. Prvi je mjerenje na pojedinačnim listovima papira – ukoliko debljina prelazi 0,04 mm, a drugi je mjerenje na snopu listova (obično to bude 5 listova) – ukoliko je debljina ispod 0,04 mm. Svih 20 mjerenja provode se na jednoj odabranoj strani lista – pustenoj ili sitojoj. [5]

### **7.2. Svojstva površine**

Određivanje svojstava površine podrazumijeva određivanje podesnosti za tisak IGT aparatom, glatkost i hrapavost, prašenje papira i čupanje papira. U ovom dijelu rada objasniti će se određivanje glatкости prema Bekk metodi koja se i provodila u eksperimentalnom dijelu rada.

Određivanje glatкости bitan je faktor koji uvelike utječe na kvalitetu reprodukcije. Glatkost je približavanje površine idealnoj ravnini. Razlikujemo mikro i makro neravnine

površine. Mikro neravnine nastaju zbog nejednakosti i neravnina vlakana i punila koje se nalaze na površini lista. Makro neravnine nastaju nakupljanjem vlakana na površini papira ili stvaranjem valova. Industrijski proizveden papir nema jednaku glatkost zbog dvostranosti između listova papir. Cilj je imati što gladi papir, jer je on kao takav više pogodniji za tisak. Određivanje glatkosti prema Bekk metodi provodi se na uređaju PTI-Line prema ISO 5627 ili TAPPI standardu T 479. Taj uređaj posjeduje mjernu glavu za ispitivanje glatkosti papira prema navedenim standardima. Također, sadrži integrirano računalo i zaslona za prikaz rezultata. Uređaj daje rezultate s točnošću od 0.1 sekundi, dok se mjerenje provodi na mjernom području od 10 cm<sup>2</sup>. Mjerenje se provodi na najmanje 10 uzoraka papira, po 5 sa svake strane papira. Kao rezultat dobije se aritmetička sredina pojedinih mjerenja kao cijeli broj. U većini slučajeva sitena strana bude hrapavija od pustene strane. [5]

### **7.3. Mehanička svojstva**

Mehanička svojstva podrazumijevaju ispitivanje otpornosti prema kidanju i prekidno rastezanje, otpornost prema savijanju, otpornost prema cijepanju, otpornost prema tlaku i ispitivanje krutosti papira. U ovom dijelu rada objasniti će se ispitivanje krutosti papira prema Taberu što se i provodilo u eksperimentalnom dijelu rada.

Krutost je otpornost materijala da se odupire određenoj sili savijanja. Određivanje krutosti vrlo je važno svojstvo. Otpornost gotove kutije na lom ovisi o elastičnosti koja je proporcionalna krutosti. Najveći utjecaj na krutost imaju debljina i gramatura papira. Što se tiče smjerova vlakana, krutost u uzdužnom smjeru uvijek je veća od krutosti u poprečnom smjeru toka vlakana, a što se tiče materijala veću krutost imaju materijali koji su izrađeni iz pulpe s puno hemiceluloze i kraćih jako mljevenih vlakana. Za provođenje ispitivanja krutosti papira/kartona služimo se uređajem prema Taberu proizvođača Frank. Mjerenje se izvodi prema metodi Taber sukladno standardima za određivanje krutosti pri savijanju; ISO i Tappi T 489. [1]

#### 7.4. Optička svojstva

Optička svojstva papira podrazumijevaju ispitivanje bjeline, svjetline, opaciteta i transparentnosti, sjajnosti, fluorescentnosti, boje i postojanosti prema svjetlu. U ovom dijelu rada objasniti će se ispitivanje svjetline, bjeline, stupnja žutosti i opaciteta što se i provodilo u eksperimentalnom dijelu rada.

Svjetlina papira je omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla s površine nekog neprozirnog uzorka prema stupnju refleksije idealnog reflektirajućeg tijela. Mjeri se uređajem spektrofotometrom prema standardu ISO 2470:1999. S obzirom da različiti papiri mogu imati sličnu svjetlinu, a različitu bjelinu, mjerenje svjetline provodi se za kontrolu procesa bijeljenja papira. [1]

Bjelina papira vrlo je važna posebno kod nekih vrsta papira kao što su crtači, tiskovni i bezdrveni pisači papiri. Da bi se postigao visok stupanj bjeline potrebno je imati kvalitetno bijeljeno vlakno, punila s većim stupnjem bjeline, optička bjelila i plavila. Kada se govori o bjelini, misli se na postotak kojim se taj materijal približava idealno bijelom. Za taj stupanj se uzima magnezijev oksid (MgO) kao 100% bijeli. Bjelina se opisuje i kao stupanj difuzne refleksije svjetlosti svih valnih duljina s površine nekog uzorka kroz vidljivi spektar. Određuje se prema standardu ISO 11475:1999, na vanjskom danjem svjetlu D65/10°. Stupanj bjeline izražava se u (%). [5]

Stupanj žutosti (yellowness) ima vrlo važnu ulogu u određivanju optičkih svojstava papira. Stupanj žutosti kod recikliranih papira većinom pokazuje bolje vrijednosti od standardnih papira. Kada se stupanj žutosti ispituje u laboratoriju, ispitivani uzorci mogu se premazati s jednim ili dva sloja bijele tinte od titanovog dioksida. Uspoređujući takve premazane ili nepremazane papire, najniže vrijednosti žutosti većinski budu izmjerene kod papira s visokim udjelom recikliranih vlakana u njihovoj strukturi. Određuje se prema standardu ISO 12647, a izražava se u (%). [13]

Opacitet je svojstvo neprozirnosti određene površine. To je odnos stupnja refleksije pojedinačnog lista papira iznad crne podloge prema stupnju refleksije toga istoga lista u snopu. Debljina papira, prisutnost bojila, stupanj bijeljenja i vrsta vlakana su neki od utjecaja na opacitet papira. Tiskovni papiri moraju biti neprozirni kako se tekst ili slika

ne bi prozirali i na drugu stranu. Opacitet papira i kartona određuju se prema standardu ISO 2471:1998. [1]

## 8. Recikliranje papira

Papir je materijal čija je upotreba široko rasprostranjena. S obzirom na sve veći nedostatak sirovina, dolazimo do potrebe za rješavanjem ovog globalnog problema. Jedno od rješenja je i recikliranje staroga papira i iskorištavanje istoga u nove svrhe.

Stari papir je sekundarna sirovina koja se može iskoristiti za izradu recikliranog papira na način da reciklirani papir ili karton budu u cijelosti proizvedeni iz sekundarne sirovine ili miješanjem sekundarne i primarne sirovine. Prvi korak za ponovnu upotrebu staroga papira je prikupljanje, a zatim sortiranje. [1] Papir se prikuplja odlaganjem u posebne spremnike – kontejnere ili kartonske kutije (Slika 3). Prikupljeni papir zatim se šalje na preradu i potom izradu novih proizvoda koji će se široko upotrebljavati. Sortiranje je dobro napraviti odmah prilikom prikupljanja, što je i praksa u europskim zemljama, jer se time olakšava posao, a papir se odmah balira i šalje na preradu. Sirovine za dobivanje recikliranog papira dolaze iz velikih industrijskih postrojenja, trgovačkih centara, bolnica, tiskara i sl. Prilikom samog prikupljanja, vrlo je važno držati se pravila razvrstavanja prema vrstama. Primjerice, kartonska ambalaža se odvaja u posebno pripremljene kontejnere, a novinski papir se odvaja od ostalih vrsta papira. [6] Također, svi veliki potrošači obvezuju se zbrinjavati stari papir i karton kao i svaki drugi otpad. Od toga je puno veći izazov vršiti zbrinjavanje unutar domaćinstva jer se tu radi o dispergiranim izvorima starog papira. Odvajanje staroga papira razlikuje se od države do države. U Hrvatskoj je prikupljanje starog papira u domaćinstvima dobrovoljno, tako da postoje razlike između općina kod kojih je razina svjesnosti na visokom nivou, od općina kod kojih je ova praksa potpuno nerazvijena. Svakako je važno ljudima što više podizati svijest o potrebi očuvanja svih resursa. [1] U centrima za prikupljanje staroga papira se provodi prvo sortiranje koje podrazumijeva uklanjanje nevlaknatih materijala i nečistoća, a onda slijedi sortiranje prema vrstama vlaknatih materijala. Iako se sortiranje najkvalitetnije provodi ručno, razvijaju se i sustavi za sortiranje. Jedna vrsta tih uređaja radi na principu propuhivanja zraka u kolonama u koje se papiri dovoze pomičnim

trakama na jednu stranu, a s druge strane puše zrak koji će lakše papire otpuhati u jednu stranu i svrstati ih u tiskovne, a teže svrstati u kartone. S druge strane, postoje i spektroskopski uređaji koji na temelju reflektiranog spektra s ispitivane strane papira utvrđuju sadržaj lignina u njima i tako ih razvrstavaju u tiskovne ili kartonske. Ovako sortiranim i pripremljenim papirima se postiže lakša daljnja prerada.



*Slika 3: Kontejner za prikupljanje staroga papira [6]*

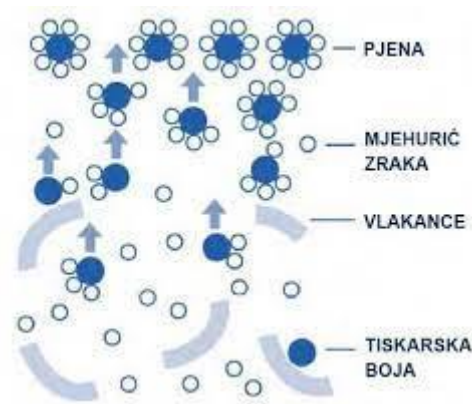
Dalje slijedi transport papira u tvornice papira i kartona. S obzirom da je transport u tvornice skup, provodi se tzv. baliranje – vezanje bala pojedine klase papira plastičnim trakama. Tako se postiže transport veće količine ove sirovine.

Važno je naglasiti da postoje papiri koji se nikako ne smiju koristiti u svrhe recikliranja zbog svog štetnog djelovanja. To su papiri iz raznih bolnica, ambulanti, higijenski papiri, papiri koji su bili u kontaktu s kemikalijama itd. Takvi papiri smatraju se otpadom i najčešće ih se spaljuje. Prilikom dolaska papira u tvornicu, isti se mora još jednom pregledati i razvrstati. Taj postupak se vrši ručno na pokretnoj traci.

Sljedeći postupak prerade je razvlaknjivanje kod kojega se odvajaju vlakna iz strukture papira na pojedinačna vlakna, a vrši se u strojevima pulperima. Razvlakivanje se provodi jer stari papir u sebi nosi zaostale čestice boje, ljepila, i ostalih nepoželjnih čestica. Slijedi pročišćavanje kojim se iz pulpe uklanjaju nečistoće kao što su guma, pijesak, metali, smola, ljepila i boje. Vršiti se u centrifugalnim pročišćivačima, a uklanjaju se nečistoće vidljive golim okom. Prosijavanje je sljedeće i služi za uklanjanje svih čestica većih od

vlakana. Vršiti se prolaskom pulpe kroz sita definiranih otvora uz pritisak koji obećava prolazak vlakana kroz sito. [1]

Slijedi deinking flotacija - proces selektivne separacije koji odstranjuje čestice tiskarske boje koristeći mjehuriće zraka (Slika 4). U pulpu se dodaju flotacijske kemikalije koje povećavaju hidrofobnost čestica boje i tako pospješuju učinkovitost flotacije. Pjena koja se tijekom ovog postupka stvara na površini obavezno se mora uklanjati. Flotacijom se uspješno uklanjaju čestice veličine od 15 do 150  $\mu\text{m}$ . Uređaj u kojemu se provodi flotacija naziva se dezintegrator i u njemu nastaje suspenzija vlakana u vodi odnosno pulpa. [6]



Slika 4: Deinking flotacija [6]

## 9. Promjene svojstava recikliranog lista papira

Prema gruboj podjeli, razlike koje se vide između papira proizvedenih od sekundarnih vlakana i papira proizvedenih od primarnih, mogu se svrstati u optičke i fizikalne karakteristike. Glavni uzrok tih razlika su promjene u vlaknima, a onda i razne nečistoće koje se nisu do kraja uklonile iz pulpe. Do problema se dolazi ako se među tim nečistoćama nalaze i ljepljive čestice koje mogu slijepiti role papira i tako prouzrokovati cijepanje trake papira prilikom tiska. Ljepljive čestice tako nose titulu najvećeg problema jer uzrokuju nastanak pukotina u papiru tako da se zalijepe za sito papir stroja te onda na mjestima na kojima su ljepljive čestice izostale tijekom ostalih postupaka, ostaju pukotine na traci papira.

U recikliranim papirima prisutne su i sitne čestice koje uvelike utječu na svojstva lista papira. To mogu biti kratka vlakna nakon mljevenja, krhotine vlakana, čestice punila i čestice tiskarske boje. One se mogu grupirati u skupine koje doprinose boljem vezanju vlakana međusobno.

Što se tiče optičkih svojstava uvelike su prisutne razlike između recikliranih vrsta papira i primarnih sirovina. Zbog prisutnosti čestica neuklonjene tiskarske boje, opacitet recikliranih papira raste, dok se svjetlina smanjuje. Na povećani postotak opaciteta utječu čestice boje i sadržaj pepela s jedne, te sadržaj punila s druge strane.

Za ukupnu jakost papira presudna veza je vlakno-vlakno. To se može objasniti sljedećim primjerima : ispitivanje jakosti vlakana izdvojenih iz listova papira koja su često bila podvrgnuta reciklaciji se svakim daljnjim postupkom slabije istežu i tako postaju jača i čvršća. Međutim, laboratorijski listovi izrađeni od istih vlakana pokazuju pad jakosti, što ukazuje da vlakna međusobno moraju biti dobro povezana i isprepletana za ukupnu jakost papira. Nadalje, reciklirani papiri prilikom čestog recikliranja pokazuju manju otpornost na prskanje, istezanje, gustoću i kidanje. Međutim, otpornost prema Taberu i krutost rastu. Smatra se da na mehanička svojstva recikliranog papira jako utječu uvjeti sušenja papira u prethodnom ciklusu. [1]

## **10. Prednosti i nedostaci recikliranog papira**

Reciklirani papir donosi mnoge prednosti, ali isto tako ima i nedostatke.

Jedna od najvećih prednosti recikliranog papira je smanjena potreba za eksploatacijom prirodnih izvora. [7] Recikliranje papira dobro utječe na okoliš i na čovjeka u njemu. Ako govorimo o štednji energije, recikliranje papira jedna je od najvažnijih praksi koja se provodi u svijetu. Potrošnja vode i energije se prilikom ove prakse smanjuju, a to je jako važno budući da tradicionalna proizvodnja papira zahtijeva velike količine istih u proizvodnom procesu. Agencija za zaštitu okoliša (AZO) dokazala je da se recikliranjem papira smanjuju onečišćenja vode za 35 %, a zraka za 74 % u odnosu na tradicionalnu proizvodnju. Zbog toga razvijene države, koje prati i Hrvatska, sve više pažnje posvećuju

recikliranju papira kojim čuvamo naše šume, štedimo energiju, ne zagađujemo vode te smanjujemo količine otpada na odlagalištima. [6]

Međutim, kvaliteta recikliranog papira može varirati ovisno o postupcima recikliranja i zaostalim nečistoćama unutar vlakana. Reciklirani papir nešto je tamnije boje pa na taj način gubi bitku nad izgledom u odnosu na standardne papire koji su svjetliji. Tamnije boje je baš zbog zaostalih nečistoća koje nisu u dovoljnoj mjeri uklonjene prilikom recikliranja. Također, stari papir ne može se reciklirati beskonačno jer vlakna u njemu pucaju te ih je nemoguće više povezati u čvrstu mrežu. [6] Ponekad reciklirani papir može biti manje čvrst i imati nepovoljniju površinu za tisak u odnosu na standardne papire.

U svakom slučaju, reciklirani papir tijekom cijeloga postupka recikliranja izgubi na kvaliteti i izgledu, ali njegova svojstva i dalje omogućuju široku upotrebu pa čak i ponovno recikliranje. Tamnija boja utječe na vizualni izgled papira, ali se on kao takav i dalje može koristiti za tisak i za izradu ambalaže. Jedan list papira može se reciklirati i do nekoliko puta, zadržavajući svoja svojstva za tisak. [6] Zato je izrazito važno, da bi se sve ove prednosti povećale, a nedostaci umanjili, kontinuirano ulagati u tehnološke inovacije i poboljšavanja u postupcima recikliranja papira te podizati svijest o održivim opcijama za izradu papira i ambalaže. [8]

## 11. EKSPERIMENTALNI DIO

### 11.1. Materijali

Za potrebe istraživanja svojstava tiskovnih recikliranih papira, prikupljeni su sljedeći materijali (Slika 5):

<b>Tržišni naziv papira</b>	<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kratica</b>
<i>Schoellers reciklirana trava</i>	120	Sch rec. trava
<i>Schoellers reciklirani papir</i>	160	Sch rec.
<i>Materica</i>	120	Materica
<i>Flora reciklirani papir</i>	130	Flora rec.





*Slika 5: Prikupljeni materijali za ispitivanje*

### Schoellers reciklirana trava

U potrebi za korištenjem papira za različita pakiranja, počinje se koristiti sve više održivih alternativa umjesto klasičnih papira. To su tzv. otpadni materijali koji su predviđeni za bacanje, a mogu se iskoristiti u izradu novih korisnih pakiranja. Neki od primjera takvih papira su: trava papir – napravljen od ostataka trave i kava papir – napravljen od ostataka kave. S obzirom na prikupljene dostupne materijale, ovdje je fokus na trava papiru.

Schoellers reciklirana trava (sch rec. trava) sadrži 30% suncem sušenu travu i 70% recikliranih papirnih vlakana (Slika 6). Suncem sušena trava dobivena je iz kompenziranih područja i okolnih zapuštenih posjeda koji su nisu iskorišteni za poljoprivredne potrebe te sezone. U ovoj priči, sirovi materijali brzo rastu i obnavljaju se, pa njihovo korištenje pritom čuva prirodne resurse i okoliš. Kod ovoga papira je za proizvodnju peleta trave, koje se na kraju dodaju u pulpu, potrebno manje energije, vode i kemijskih sredstava nego što je to inače slučaj. To je zato što za razliku od drva, trava sadrži vrlo malo lignina koji se mora otopiti iz sirovine. Lignin je prirodno ljepilo koje drži celulozna vlakna zajedno.

Sch rec. trava je površinski tretiran papir stoga se lako može tiskati čak i u standardnom ofset tisku. Ne dolazi do pucanja vlakana te tako nije potrebno često čistiti valjke tiskarskog stroja. Ambalaža izrađena od ovoga papira je sigurna za kontakt sa suhom hranom koja nije masna, te hranom koja se oguli ili opere prije konzumacije. Pogodna je za ofset i sitotisak, kao i za sve uobičajene tehnike završne dorade. [9]

Ovaj papir dolazi u gramaturama od 120 i 350 g/m<sup>2</sup>. U ovom istraživanju ispitivanja se provode na papiru gramature **120 g/m<sup>2</sup>**. Kod papira od 120 g/m<sup>2</sup> jedna strana ima površinu od trave, a druga strana ima poznatu smeđu površinu, a kod papira od 350 g/m<sup>2</sup> obje strane sadrže površinu od trave. Papir je na dodir hrapav i s jedne i s druge strane. Od svih uzoraka ovaj uzorak je najhrapaviji.



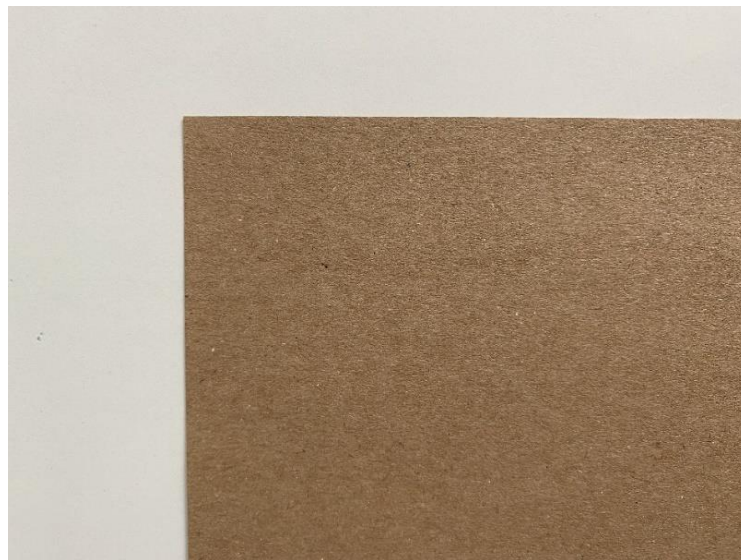
*Slika 6: Sch rec. trava*

### Schoellers reciklirani papir

Zahvaljujući bezvremenskom kraft smeđem tonu, na ovom papiru mogu se realizirati različite ideje za određeni dizajn. Pogodan je i za slike koje se mogu reproducirati u vrlo intenzivnim bojama, naravno, ako su motivi tiska podloženi bijelim neprozirnim uzorkom.

Sch rec. papir (Slika 7) stoga je jedinstven i ekološki prihvatljiv alat za dizajnere i sve one koji su spremni reciklirati. S obzirom da je 100% recikliran i bezkiselinski vrlo je ekološki prihvatljiv, a pogodan je za ofsetni tisak. [10] Za razliku od prethodnog primjera (Sch rec. trave), obje strane papira su približno iste smeđe boje. Površina papira je s obje strane hrapavija na dodir.

Dolazi u gramaturama od 130 g/m<sup>2</sup> i 160 g/m<sup>2</sup>, a u ovom istraživanju ispitivanja se provode na papiru gramature **160 g/m<sup>2</sup>**.



*Slika 7: Sch rec.*

## Materica

Reciklirani papiri i kartoni pod nazivom Materica dolaze u boji pulpe, a izrađeni su od: 40% vlakana CTMP-a (Chemi-Thermo Mechanical Pulp), 25% recikliranih vlakana, 10% pamučnih vlakana i 25% čistih ekološki prihvatljivih ECF (Elemental Chlorine Free) vlakana (Slika 8).

Pamučna vlakna u ovome slučaju stvaraju grubost površine, a čista celuloza dodaje volumen i čvrstoću, čineći je idealnom za sve vrste pakiranja.

Materica je idealna za koordinirane grafičke materijale, korice, umetke, brošure i mape. [11]

Površina ovoga papira na dodir je glatka i s jedne i s druge strane. Ako uspoređujemo sve uzorke, ovaj uzorak je najgladi. Obje strane papira jednakih su boja. Dolazi u veličinama od 120, 180, 250 i 360 g/m<sup>2</sup>, a u ovom istraživanju ispitivanja se provode na papiru gramature **120 g/m<sup>2</sup>**.



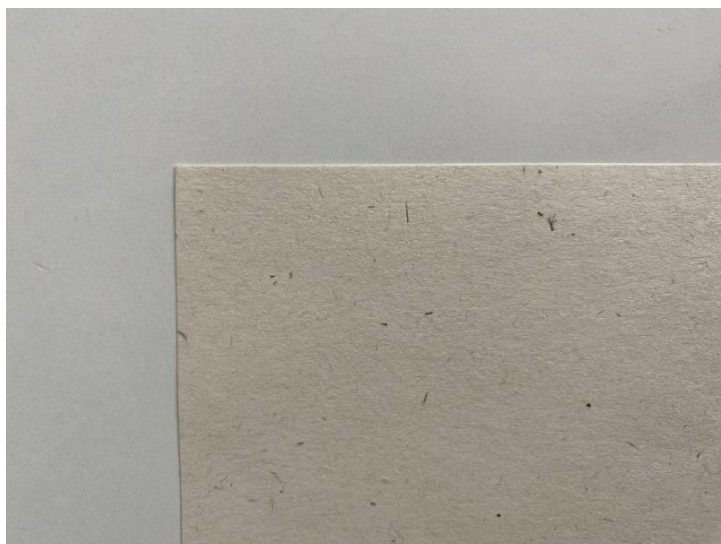
*Slika 8: Materica*

### Flora reciklirani papir

Flora rec. djelomično je reciklirani i pH neutralan papir (Slika 9). Sastavljen je od 30% čistog celuloznog otpada i 60% djevičanske celuloze.

Djevičanska celuloza je celuloza izbijeljena elementarnim procesom bez klora i dobivena iz šuma te 10% pamučnog vlakna. Flora rec. je djelomično reciklirani papir. Sofisticirani asortiman boja inspiriran prirodnim tonovima cvijeća, začina, voća i lišća djeluju jako lijepo na prvi pogled, dok prisutnost pamuka u pulpi čini površinu papira mekom na dodir. [10]

Jednake je boje i s jedne i s druge strane, a po glatkosti odmah iza Materice. Dolazi u gramaturama od 100, 130, 160, 240, 350 g/m<sup>2</sup>, a u ovom istraživanju ispitivanja se provode na papiru gramature **130 g/m<sup>2</sup>**.



*Slika 9: Flora rec.*

## **11.2. Metode**

Sva ispitivanja papira se provode prema standardnim uvjetima. Papir se u laboratoriju ispituje prema metodi ISO 187, koja podrazumijeva klimatizaciju papira na temperaturu od  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  i RVZ od  $50 \pm 2\%$ . [1]

### Mikroskopiranje površine papira

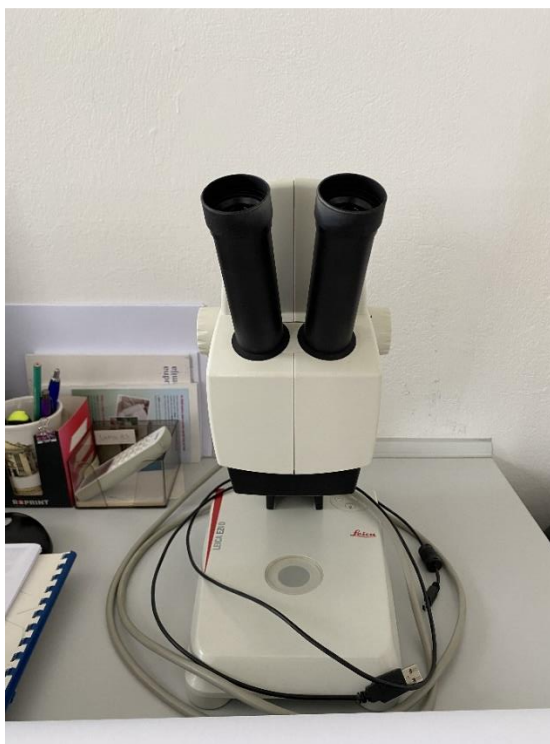
Za dobivanje mikroskopskih slika koristio se sljedeći tip mikroskopa: Leica Microsystems Leica EZ4 D Stereo Microscope (Slika 10).

Namjena - služi za vrednovanje otisaka i tiskovnih podloga. Sadrži kameru koja omogućava povećanje i do 200x.

Tehničke značajke:

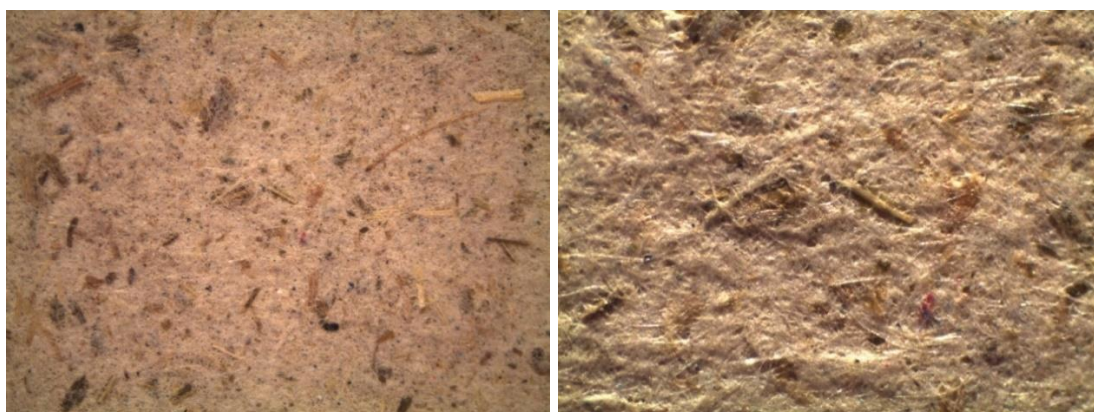
- Raspon povećanja: 8x – 35x
- Maksimalna razlučivost: 170 Lp/mm
- Trosmjerno LED osvjetljenje
- USB 2.0 [12]



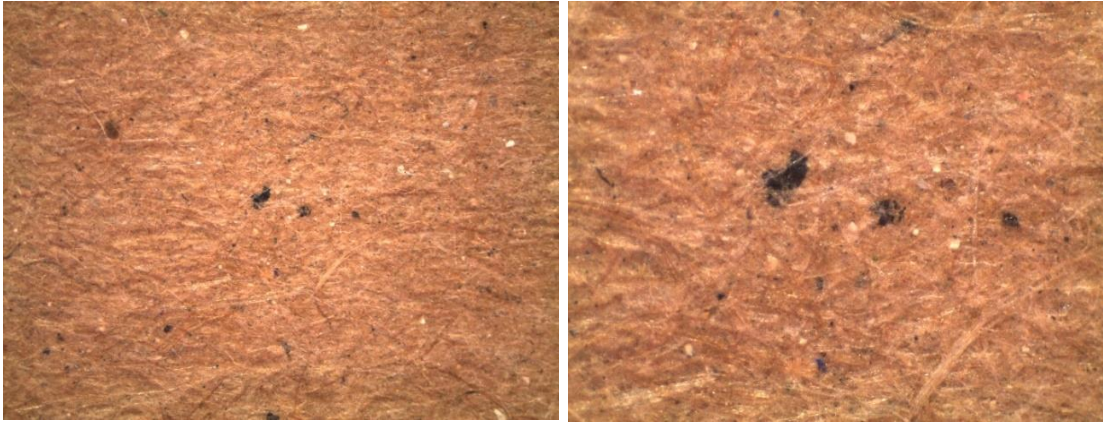


*Slika 10: Mikroskop*

Mikroskopiranje se provodilo na sljedeći način. Svaki od četiri moguća uzorka redom su postavljeni na stolić mikroskopa gdje su bili osvjetljeni izvorom svjetlosti. Pomoću makrovijka tražila se željena slika predmeta, a mikrovijak služio je za izoštravanje slike. Na ovaj način snimile su se po dvije fotografije za svaki uzorak – jedna povećanu na 10 x, a druga na 25 x kako bi se što bolje prikazala struktura vlaknaca (Slike 11,12,13,14).



*Slika 11: Sch rec. trava, 10 x / 25 x povećanje*



*Slika 12: Sch rec., 10 x / 25 x povećanje*



*Slika 13: Materica, 10 x / 25 x povećanje*



*Slika 14: Flora rec, 10 x / 25 x povećanje*

## Određivanje debljine papira

Za ispitivanje debljine papira koristio se sljedeći tip mikrometra: Enrico Toniolo S.r.l. DGTB001 Thickness Gauge (Slika 15).

Namjena - elektronički ručni mikrometar je uređaj koji služi za ispitivanju debljine papira, kartona i ostalih sličnih materijala. Mjeri u rasponu od 0-10 mm uz točnost od 0.001 mm.

Tehničke značajke:

- Mjerni raspon: 0 – 10 mm
- Rezolucija: 0.001 mm
- Standardi: UNI EN ISO 534:2011 [12]



*Slika 15: Mikrometar*



Ispitivanje debljine papira provodilo se na sljedeći način. Mjerenjem na pojedinačnim listovima, svaki od četiri uzorka papira je jedan po jedan ulagan između dviju paralelnih metalnih mjernih ploha i tako je izmjereno po 20 uzoraka uvijek na jednoj odabranoj strani lista – sitenoj ili pustenoj. Mjerena debljina za pojedinačne listove dobila se izračunom aritmetičke sredine pojedinih mjerenja. Uzorcima je nakon toga određena i standardna devijacija.

### Određivanje glatkosti papira prema Bekku

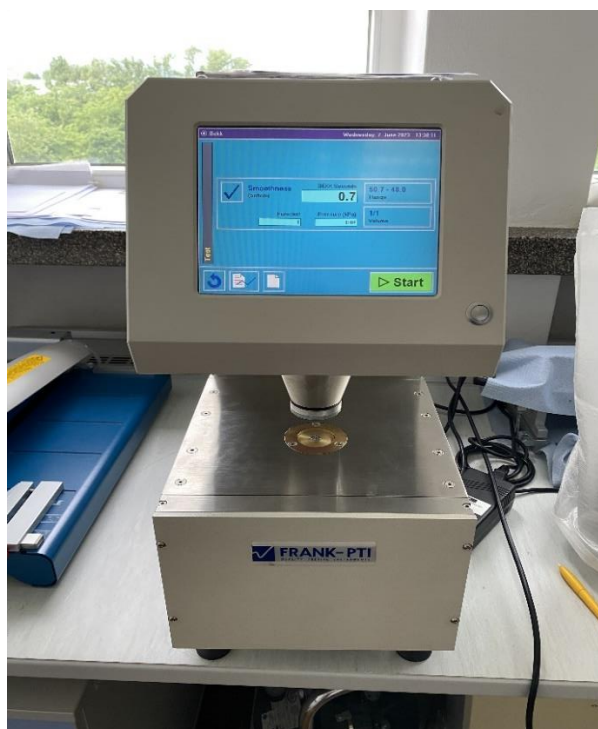
Za ispitivanje glatkosti papira prema Bekku koristio se sljedeći tip uređaja: PTI Austria GmbH PTA line BEKK tester (Slika 16).

Namjena - uređaj je namijenjen mjerenju glatkosti papira i sličnih materijala prema Bekk metodi. Upravljanje uređajem jednostavno je zahvaljujući zaslonu osjetljivom na dodir.

Standardi: ISO 5627, DIN 53107, TAPPI T479 [1]

Tehničke značajke:

- Mjernog područje: 50.7 – 48.0 kPa, 50.7 – 29.3 kPa
- Mjerna površina: 10 cm<sup>2</sup>
- Odabir volumena: 380 ml (standardni 1/1), 38 ml (1/10) i 19 ml (1/20)
- Točnost mjerenja: 0.01 sec
- RS232 i Paralelni port [12]



*Slika 16: Bekk uređaj*

Ispitivanje glatkosti prema Bekk metodi provodilo se na sljedeći način. Ispitivalo se pet uzoraka sa svake strane papira. Uzorak se stavlja na staklenu pločicu iznad koje je mjerna glava, ispitivanom stranom polegnut prema dolje. Pritiskom tipke start se na uzorak spusti mjerna glava pritišćući uzorak na staklo. Spremnik za zrak se isprazni do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Broj glatkosti prema Bekku se izražava u sekundama. Što je taj broj veći to je površina papira glađa, a što je manji broj površina je hrapavija. Na integriranom računalu se odmah prikazuju srednje vrijednosti i standardne devijacije.

### Određivanje krutosti papira prema Taberu

Za ispitivanje krutosti papira prema Taberu koristio se tip uređaja prikazan na Slici 17.



*Slika 17: Taber uređaj*

Ispitivanje krutosti prema Taberu provodilo se na sljedeći način. Uzorci papira rezali su se na dimenzije 38x70 mm, po dva u svakom smjeru – poprečnom i uzdužnom. Zatim su se uzorci, jedan po jedan, pričvršćivali hvataljkama na klatno uređaja. Ispitivala su se po dva uzorka za poprečni i po dva uzorka za uzdužni smjer, te svaki smjer s pomicanjem u desno i u lijevo. Pokretala se poluga koja je savijala uzorak, a zaustavljena je kada se kazaljka klatna poklopila sa kutom od 15° te se na skali očitala krutost. Krutost je izražena u rasponu od 0 do 100 jedinica krutosti (pcm ili mNm).

### Određivanje optičkih svojstava papira - svjetlina, bjelina, stupanj žutosti (yellowness) i opacitet

Za ispitivanje navedenih optičkih svojstava koristio se sljedeći tip uređaja: Spektrofotometar - X-Rite eXact (Slika 18).

Namjena - služi za kolorimetrijska i spektrofotometrijska mjerenja na širokom rasponu materijala od papira do tekstila.

Tehničke značajke:

- Raspon valnih duljina: 400-700 nm
- Raspon mjerenja: 0 – 200 % Reflektancija;
- Brzina mjerenja: 2 s
- Optička razlučivost: 10 nm
- Geometrija 45°/0°
- Standardni promatrač: 2°/10°
- Mjerna površina: Ø1.5, Ø2, Ø4 i Ø6 mm
- Standard: ISO 13655:2009
- USB 2.0 [12]



Slika 18: Spektrofotometar

Ispitivanja optičkih svojstava papira provodila su se na sljedeći način. Od svakog uzorka papira napravljeno je po 10 mjerenja svjetline, bjeline, i stupnja žutosti za A stranu i po 10 istih mjerenja za B stranu. Za opacitet je napravljeno 10 mjerenja koja vrijede i za A i B stranu.

Kod ispitivanja opaciteta uzorak je mjeran prvo iznad crne pozadine, pa iznad bijele, dok su kod ispitivanja svjetline, bjeline i stupnja žutosti uzorci mjerani samo iznad bijele pozadine.

### 11.3. Rezultati i rasprava

#### Ispitivanje debljine papira

Tablica 1: Rezultati ispitivanja debljine papira

	Sch rec. trava	Sch rec.	Materica	Flora rec.
1.	202 $\mu\text{m}$	220 $\mu\text{m}$	169 $\mu\text{m}$	181 $\mu\text{m}$
2.	188	209	163	186
3.	207	216	172	180
4.	189	230	170	194
5.	190	219	173	171
6.	193	232	165	188
7.	194	218	167	183
8.	204	219	173	190
9.	200	224	160	193
10.	199	226	174	177
11.	189	227	172	185
12.	195	219	170	187
13.	191	226	171	186
14.	194	216	166	190
15.	211	218	168	173
16.	193	220	161	175
17.	188	222	170	178
18.	192	215	163	184
19.	203	217	173	180
20.	188	210	171	177
<b>Srednja vrijednost (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>195,5</b>	<b>220,15</b>	<b>168,55</b>	<b>182,9</b>
Standardna devijacija	6,92	5,99	4,26	6,53

Nakon završnih mjerenja koja su se izvodila po 20 puta za svaki uzorak, izračunala se srednja vrijednost i standardna devijacija. Primijećeno je da je debljina najveća kod

uzorka Sch rec. koji ima i najveću gramaturu (160 g/m<sup>2</sup>). Prema vidljivoj srednjoj vrijednosti i standardnoj devijaciji, od svih uzoraka najviše odstupa uzorak Materica kod kojeg su te vrijednosti nešto manje nego kod ostalih. Rezultati ispitivanih uzoraka su puno veće debljine od npr. uredskih papira kod kojih je ona između 105 i 110 µm. To znači da su ovi uzorci recikliranih papira pogodni za manja ambalažna pakiranja određenih proizvoda. To mogu biti lakši proizvodi koju bi ova debljina papira bez problema držala, ili suha hrana koja za sobom ne ostavlja previše masnoće.

### Određivanje glatkosti papira prema Bekk metodi

Tablica 2: Rezultati ispitivanja glatkosti papira prema Bekku

	Sch rec. trava		Sch. rec		Materica		Flora. rec	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1.	2,2 s	1,7 s	2,4 s	2,4 s	6,5 s	6,6 s	3,3 s	2,8 s
2.	1,9	1,8	2,1	2,5	6,8	7,3	3,4	3,2
3.	2,0	1,7	2,2	2,6	6,2	7,3	3,6	3,6
4.	2,1	1,9	2,4	2,7	6,5	7,4	3,6	3,3
5.	2,0	1,7	2,5	2,5	6,4	7,2	3,2	3,4
<b>Sred. Vr. (s)</b>	<b>2,04</b>	<b>1,72</b>	<b>2,32</b>	<b>2,54</b>	<b>6,48</b>	<b>7,16</b>	<b>3,42</b>	<b>3,26</b>
Std. Dev.	0,11	0,04	0,16	0,11	0,22	0,32	0,18	0,30

Što se tiče određivanja glatkosti, dobivena mjerenja dokazuju prethodne pretpostavke glatkosti papira na temelju dodira. Najveću hrapavost pokazuje uzorak Sch rec. trava, zatim slijedi uzorak Sch. rec, zatim Flora rec. i kao najgladi se pokazao uzorak Materica što je ranije i pretpostavljeno.

Papir je pogodniji za tisak što mu je veća glatkost, što znači da je ovdje uzorak Materica zbog svoje glatkosti najpogodniji za tisak. Ovaj uzorak se bez problema može tiskati u standardnom ofset tisku.

## Određivanje krutosti papira prema Taberu

Tablica 3: Rezultati ispitivanja krutosti papira prema Taberu

<b>Sch rec. trava</b>		
	Uzdužni	Poprečni
	Desna i lijeva	Desna i lijeva
<b>Srednja vrijednost (pcm)</b>	<b>5,75</b>	<b>2,75</b>
<b>Sch rec.</b>		
	Uzdužni	Poprečni
	Desna i lijeva	Desna i lijeva
<b>Srednja vrijednost (pcm)</b>	<b>12,25</b>	<b>5</b>
<b>Materica</b>		
	Uzdužni	Poprečni
	Desna i lijeva	Desna i lijeva
<b>Srednja vrijednost (pcm)</b>	<b>5,5</b>	<b>4,25</b>
<b>Flora rec.</b>		
	Uzdužni	Poprečni
	Desna i lijeva	Desna i lijeva
<b>Srednja vrijednost (pcm)</b>	<b>6,5</b>	<b>4,75</b>

S obzirom da je krutost svojstvo materijala da se odupire sili savijanja, ono je vrlo važno svojstvo, osobito ako se razmišlja o korištenju određenih uzoraka u svrhu ambalažnih pakiranja. Prikazane srednje vrijednosti rezultati su više provedenih mjerenja.

Krutost u uzdužnom smjeru toka vlaknaca uvijek je veća od krutosti u poprečnom smjeru na što ukazuju i rezultati mjerenja za uzorak Sch rec. trava. U odnosu na ostale uzorke, kod ovoga je uzorka krutost najmanja što znači da ovaj uzorak nije dobar odabir za ambalažu proizvoda.

Mjerenja kod uzorka Sch rec. također potvrđuju teoriju da je krutost u uzdužnom smjeru toka vlaknaca uvijek veća od poprečnog smjera. Također, kod ovoga uzorka vidi se da utjecaj na krutost papira imaju debljina i gramatura, koje su kod ovog uzorka najveće, tako da je i krutost ovdje najveća od svih uzorka. To upućuje da je ovaj uzorak dobar odabir za ambalažu proizvoda.

Mjerenja kod uzorka Materica također potvrđuju teoriju da je krutost u uzdužnom smjeru toka vlaknaca uvijek veća od poprečnog smjera. Uspoređujući s ostalim



uzorcima, najpribližniju krutost ima uzorak Flora rec. Ovaj uzorak je, po svojoj krutosti, srednje dobar odabir za ambalažna pakiranja.

Mjerenja kod uzorka Flora rec. također potvrđuju teoriju da je krutost u uzdužnom smjeru toka vlaknaca uvijek veća od poprečnog smjera. Uspoređujući s ostalim uzorcima, najpribližniju krutost ima uzorak Materica. Ovaj uzorak je, po svojoj krutosti, srednje dobar odabir za ambalažna pakiranja.

### Određivanje optičkih svojstava papira - svjetlina, bjelina, stupanj žutosti (yellowness) i opacitet



*Slika 19: Vizualna usporedba ispitivanih recikliranih materijala*

*i klasičnog uredskog papira*

Tablica 4: Rezultati ispitivanja optičkih svojstava papira

Uzorci	Svjetlina (%) (TB – 452)		Bjelina (%) (W-E-SE)		Žutost (%) (Y-E-OS)		Opacitet (%)
	A	B	A	B	A	B	
<b>Sch rec. trava</b>	<b>34,16</b>	<b>25,84</b>	<b>1,53</b>	<b>-6,21</b>	<b>30,37</b>	<b>41,22</b>	<b>99,71</b>
<b>Sch rec.</b>	<b>19,1</b>	<b>26,78</b>	<b>-9,75</b>	<b>-1,55</b>	<b>50,11</b>	<b>37,36</b>	<b>98,23</b>
<b>Materica</b>	<b>50,79</b>	<b>50,6</b>	<b>24,89</b>	<b>26,14</b>	<b>19,23</b>	<b>18,5</b>	<b>99,02</b>
<b>Flora rec.</b>	<b>70,01</b>	<b>68,18</b>	<b>39,1</b>	<b>34,8</b>	<b>16,99</b>	<b>18,47</b>	<b>97,13</b>

Promjene na svojstvima recikliranih papira izrazito su prisutne kod optičkih svojstava. Što se tiče svjetline papira, ona se smanjuje zbog prisutnosti čestica zaostale tiskarske boje te porastom sadržaja punila u recikliranom papiru. Povećana prisutnost punila bi možda trebala povećavati svjetlinu papira, no međutim, tu količina zaostale tiskarske boje pobjeđuje i utječe na smanjenje svjetline [1]. Prikazane srednje vrijednosti rezultati su više provedenih mjerenja.

**Svjetlina** kod Sch rec. trave razlikuje se od A do B ispitivane strane (Slika 20). Kod A strane srednja vrijednost iznosi 34,16 %. Kod B strane srednja vrijednost iznosi 25,84 %. U oba slučaja vidljivo je da je svjetlina puno manja od npr. svjetline klasičnih uredskih papira koja iznosi otprilike 80-95 %. Razlike između A i B strane vidljive su u rezultatu zbog toga što je u ovom primjeru recikliranoga papira Sch.rec trave od 120 g/m<sup>2</sup> jedna strana zelenkasto-sive boje zbog površine od trave, a druga strana ima poznatu smeđu površinu.

Što se tiče **bjeline** papira, tu su također vidljive razlike između A i B strane zbog toga što su površine s jedne i druge strane različite. Srednja vrijednost B strane koja je u minusu ukazuje da ta strana sadrži puno manje bjeline od A strane koja je u plusu.

**Stupanj žutosti** je u A strani prema srednjoj vrijednosti 30,37 %, a u B strani 41,22 %. Stupanj žutosti u papiru pokazuje u kojoj mjeri određeni papir sadrži lignin.

**Opacitet** (neprozirnost) za ovaj uzorak iznosi 99,71 % što znači da je uvelike nepropustan za svjetlo i pogodan za tisak. Ovaj uzorak ima najveći opacitet od svih ostalih uzoraka. Na opacitet papira utječe i debljina – što je ona veća, veći je i opacitet papira.



*Slika 20: Usporedba pustene i sitene strane - sch rec. trava*

**Svjetlina** kod uzorka Sch rec. razlikuje se od A do B ispitivane strane (Slika 21). Kod A strane srednja vrijednost iznosi 19,10 %. Kod B strane srednja vrijednost iznosi 26,78 %. Razlike između A i B strane vidljive su u rezultatu, iako su na prvi pogled izgledale skoro iste smeđe boje. U oba slučaja vidimo da je svjetlina puno manja od npr. svjetline klasičnih uredskih papira koja iznosi otprilike 80-95 %. Također, uspoređujući sva četiri uzorka prikupljenih recikliranih papira, ovaj uzorak ima najmanji stupanj svjetline.

Što se tiče **bjeline** papira, tu su također vidljive razlike između A i B strane zbog toga što su površine s jedne i druge strane različite. U ovom slučaju su srednje vrijednosti i A i B strane u minusu, s tim da je stupanj bjeline na A strani u većem minusu od B strane. Kao i kod stupnja svjetline, ovaj uzorak ima najmanji stupanj bjeline od svih uzoraka.

**Stupanj žutosti** je u A strani prema srednjoj vrijednosti 50,11 %, a u B strani 37,36 % i tu opet primjećujemo razliku između jedne i druge strane. Kod ovog primjera je stupanj žutosti najveći.

**Opacitet** (neprozirnost) za ovaj uzorak iznosi 98,23 % što znači da je uvelike nepropustan za svjetlo i pogodan za tisak.



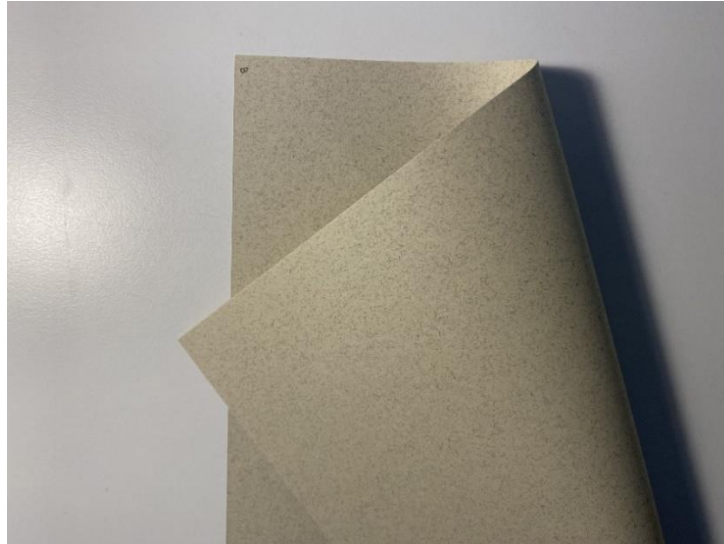
*Slika 21: Usporedba pustene i sitene strane - sch rec.*

**Svjetlina** kod uzorka Materica ne razlikuje se kod A i B strane (Slika 22). Svjetlina ovoga uzorka skoro je upola manja od svjetline klasičnih uredskih papira. Ovaj uzorak je drugi po redu, odmah iza Flore rec. po stupnju svjetline.

Što se tiče **bjeline** papira, tu su također strane skoro pa iste. Kao i kod stupnja svjetline, ovaj uzorak je drugi po redu prema stupnju bjeline.

**Stupanj žutosti** u je u ovim primjerima znatno manji od prethodnih, što ukazuje na manju količinu lignina u samoj strukturi papira.

**Opacitet** (neprozirnost) za ovaj uzorak iznosi 99,02 % što znači da je uvelike nepropustan za svjetlo i pogodan za tisak.



*Slika 22: Usporedba pustene i sitene strane - materica*

**Svjetlina** kod uzorka Flora rec. se razlikuje jako malo u A i B strani (Slika 23). Svjetlina ovoga uzorka najpribližnija je svjetlini klasičnih uredskih papira. Ovaj uzorak je vodeći prema stupnju bjeline od svih ostalih uzoraka.

Što se tiče **bjeline** papira, tu su također strane jako slične, razlikuju se u svega par posto. Kao i kod stupnja svjetline, ovaj uzorak ima najveći stupanj bjeline od svih uzoraka.

**Stupanj žutosti** u je u ovim primjerima sličan stupnju žutosti kod uzorka Materica, što ukazuje na manju količinu lignina u samoj strukturi papira.

**Opacitet** (neprozirnost) za ovaj uzorak iznosi 97,13 % što znači da je uvelike nepropustan za svjetlo i pogodan za tisak.



*Slika 23: Usporebna pustene i sitene strane - flora rec.*

## **12. ZAKLJUČAK**

Cilj ovoga istraživanja bio je utvrditi jesu li četiri vrste tržišno dostupnih recikliranih papira prema svojim svojstvima pogodni za tisak i ambalažu. Provodeći analizu uzoraka, prvo golim okom i dodirrom, a zatim i za to predviđenim uređajima, došli smo do sljedećih rezultata. Ispitivani uzorci pokazali su se vrlo dostojnim zamjenama za standardne vrste papira u području grafičke industrije. Iako su na prvi pogled najuočljivije vizualne razlike između listova recikliranih i listova standardnih vrsta papira, većina ostalih ispitivanih svojstava pokazala su njihove kvalitete. Kada govorimo o debljini papira koja znači ujednačenost pojedinih listova papira, svi uzorci pokazali su vrlo dobre rezultate s minimalnim odstupanjima. Što se tiče glatkosti papira, dva od četiri uzorka pokazala su pogodnost za tisak, dok je jedan od ta dva, uzorak Materica, u potpunosti zadovoljio očekivanja. Kod svakog od četiri ispitivana uzorka, potvrđeno je da je krutost u uzdužnom smjeru toka vlaknaca uvijek veća od poprečnog smjera. Uzorak Sch rec. trava pokazao je najmanju krutost što znači da nije pogodan za izradu ambalaže, međutim, kod uzorka Sch rec. potvrđeno je da na krutost utječu debljina i gramatura papira koje su kod ovoga uzorka bile najveće, pa je tako ovdje i krutost bila najveća od svih uzoraka. To

upućuje da je ovaj uzorak dobar odabir za ambalažu proizvoda. Optička svojstva pokazuju da su prema svom visokom opacitetu svi ispitivani uzorci vrlo povoljni za tisak i ambalažu. Također, visokom opacitetu doprinosi i debljina papira, koja je kod ovih uzoraka veća od klasičnih uredskih papira. Svjetlina i bjelina papira su se kod uzoraka Sch rec. trava i Sch rec. pokazale vrlo niskim, dok Flora rec. u ovoj priči nosi titulu uzorka koji ima najpribližniju svjetlinu standardnim vrstama papira.

Zaključno, reciklirani papiri su vrlo pogodna zamjena za standardne vrste papire u području industrije tiska. S obzirom da su im opća svojstva, svojstva površine i mehanička svojstva vrlo dobra za tisak te zadovoljavaju određene uvjete, prisutne razlike u svjetlini i bjelini ovdje su zanemarive. Gledajući na cjelokupnu dobrobit koju ova praksa donosi, te pogodnosti svojstava papira, reciklirani materijali su budućnost koja obećava očuvanje prirode uz vrlo kvalitetne rezultate u grafičkoj industriji.

### 13. LITERATURA

- [1] Kolegij Papir, nastavni materijali, ak. god. 2022/23, [doc.dr.sc](https://doc.dr.sc). Maja Stržić Jakovljević (dostupno na: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=98156>, pristup 19.6.2023.)
- [2] Rešetar, M. (2001). *Papir. Proizvodnja. Svojstva. Primjena*. Osijek.
- [3] Caput, M. (2010). Tvornica papira Rijeka. *Povijest u nastavi*, 129-136. Pregledni rad. Rijeka.
- [4] Čorlukić, F. (1987). *Tehnologija papira*. Školska knjiga. Zagreb.
- [5] Golubović, A. (1993). *Svojstva i ispitivanje papira*. Hrvatska tiskara. Zagreb.
- [6] Šokman, M. (2016). *Recikliranje papira*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.

- [7] Johnson, A. (2018). Sustainable Paper: *The Benefits of Recycling*. Journal of Environmental Science, 42(2), 123-135.
- [8] Wilson, L. (2021). *Technological Advances in Paper Recycling Processes*. Sustainable Innovation, 28(2), 65-80.
- [9]<https://www.designandpaper.com/meet-sh-recycling-grass-kaffee-papier-recycelt-a-europapier-story-about-sustainability/> , pristup 1.6.2023.
- [10]<https://www.europapier.hr/hr/shop/produkte/reciklirani-i-ekoloski-papiri~c151847>, pristup 1.6.2023.
- [11] <https://paper.fedrigoni.com/serie/materica/> , pristup 1.6.2023.
- [12][https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP\\_KatalogOpreme\\_FINAL-WEB\\_v2.pdf](https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf), pristup 25.2.2023.
- [13] Radić Seleš, V., Bates, I., Plazonić, I., Majnarić, I. (2019). *Cellulose chemistry and technology: Analysis of optical properties of laboratory papers made from straw pulp and coated with titanium dioxide white ink*. University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts, Zagreb.