

# Opća i optička svojstva tiskovnih papira

---

Puhalović, Tereza

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:216:394265>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



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

# **ZAVRŠNI RAD**

Tereza Puhalić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

# ZAVRŠNI RAD

## OPĆA I OPTIČKA SVOJSTVA TISKOVNIH PAPIRA

Mentor:

Doc. dr. Sc. Maja Stržić Jakovljević

Student:

Tereza Puhalović

Zagreb, 2023.

## SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je ispitivanje općih i optički svojstava tiskovnih papira. Cilj istraživanja je pružiti detaljan uvid u karakteristike i svojstva papira, prvenstveno tiskovnih papira te zaključke temeljene na provedenim mjerenjima. Papir je jedan od najraširenijih materijala današnjice. Kao osnovna sirovina za proizvodnju papira smatra se drvo odnosno celuloza, te ostali vlaknasti materijali i stari papir. Nadalje, rad se bavi podjelom tiskovnih papira prema krajnjoj namjeni te se oni dijele na pisaće, uredske, tiskovne, ukrasne i specijalne papire. Glavna tema ovog završnog rada je istraživanje općih i optičkih svojstava papira. Opća svojstva obuhvaćaju opis, mjerenje i analizu gramature, debljine te prostorne mase i specifičnog volumena. Analizom gramature i debljine ustanovljen je njihov međusobno proporcionalni odnos, dok su prostorna masa i specifični volumen u obrnuto proporcionalnom odnosu. Optička svojstva uključuju bjelinu, svjetlinu, žutost i opacitet. Analizom rezultata dobivenih provedenim mjerenjem pokazuje se da udio žutog tona ponajviše ovisi o stupnju bjeline odnosno što je stupanj bjeline veći to je udio žutog tona manji i obratno. Također, iz mjerenja proizlazi zaključak da papiri s visokim stupnjem bjeline (iznad 100%) u svom sastavu sadrže optička bjelila. Porastom bjeline ispitivanih uzorka uglavnom je bio vidljiv i veći stupanj svjetline, no zbog različitih načina mjerenja ovih svojstava to nije uvijek slučaj. Ispitivanje svojstava papira ima ključnu važnost u procesu proizvodnje, i u odabiru tiskovnih papira za svakodnevne potrebe da bi se omogućio kvalitetan ispis tiskovnih proizvoda.

Ključne riječi: opća svojstva, optička svojstva, papir za tisak

## ABSTRACT

The topic of this final paper is the examination of general and optical properties of printing papers. The aim of the research is to provide a detailed insight into the characteristics and properties of paper, primarily printing papers, and draw conclusions based on the conducted measurements. Paper is one of the most widely used materials today. The primary raw material for paper production is considered to be wood or cellulose, as well as other fibrous materials and recycled paper. Furthermore, the paper discusses the classification of printing papers according to their end use, dividing them into writing papers, office papers, printing papers, decorative papers, and specialty papers. The main focus of this final paper is the investigation of the general and optical properties of paper. General properties encompass the description, measurement, and analysis of basis weight, thickness, bulk, and specific volume. The analysis of basis weight and thickness revealed their proportional relationship, while bulk and specific volume showed an inverse proportional relationship. Optical properties include whiteness, brightness, yellowness, and opacity. Analysis of the results obtained from the conducted measurements demonstrates that the presence of yellow hue mostly depends on the degree of whiteness, where a higher degree of whiteness corresponds to a lower proportion of yellow hue, and vice versa. Moreover, the measurements suggest that papers with high degrees of whiteness (above 100%) contain optical brighteners. The increase in whiteness of the tested samples generally resulted in a higher level of brightness, although this is not always the case due to the different measurement methods for these properties. The examination of paper properties is crucial in the production process and in the selection of printing papers for everyday needs to ensure high-quality printing of printed products.

Key words: general properties, optical properties, printing paper

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
2.1. Povijest proizvodne papira.....	2
2.2. Osnovne sirovine za proizvodnju papira.....	3
2.3. Osnovni procesi u proizvodnji papira.....	4
2.4. Podjela papira prema krajnjoj namjeni.....	5
2.4.1. Papiri za tisak.....	6
2.4.2. Svojstva papira za tisak .....	7
2.5. Opća svojstva papira .....	8
2.6. Optička svojstva .....	11
2.7. Utjecaj optičkih bjelila na bjelinu papira.....	14
2.8. Dvostranost papira.....	15
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	16
3.1. Materijali.....	16
3.2. Metode.....	18
3.2.1. Određivanje gramature papira .....	19
3.2.2. Mjerenje debljine papira.....	21
3.2.3. Određivanje prostorne mase .....	22
3.2.4. Određivanje specifičnog volumena.....	23
3.2.5. Mjerenje bjeline papira .....	23
3.2.6. Mjerenje udjela žutih tonova u papiru ( <i>yellowness</i> ).....	25
3.2.7. Mjerenje svjetline papira .....	25
3.2.8. Mjerenje opaciteta papira .....	26
<b>4. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	26
4.1. Masa i gramatura papira.....	26
4.2. Debljina papira .....	28
4.3. Prostorna masa .....	29
4.4. Specifični volumen .....	30
4.5. Bjelina papira .....	31
4.6. Svjetlina papira.....	33
4.7. Udio žutih tonova ( <i>yellowness</i> ).....	36
4.8. Opacitet papira.....	38

<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	40
<b>6. LITERATURA</b> .....	41

## 1. UVOD

Tiskovni papir je jedan od najraširenijih vrsta papira zahvaljujući svakodnevnoj masovnoj uporabi. Tiskovni papiri posjeduju različita opća i optička svojstva, koriste se za razne tehnike tiska, a različite karakteristike koje ih obilježavaju ovise o njihovoj krajnjoj namjeni. Kako bi se osigurala visoka kvaliteta tiskovnih proizvoda, važno je detaljno ispitati opća i optička svojstva tiskovnih papira. Stoga sam u svom završnom radu odlučila istražiti opća i optička svojstva papira te metode njihovih ispitivanja. Cilj ovog istraživanja je pružanje dubljeg razumijevanja pojedinih karakteristika tiskovnih papira kako bi se identificirali njihovi kvalitativni aspekti te analizirati i pobliže objasniti neka od osnovnih svojstava tiskovnih papira. Osnovna svojstva tiskovnih papira odnose se na opća svojstva poput gramatura i debljina te računski izračunata prostorna masa i specifični volumen. Rad također analizira optička svojstva poput bjeline, svjetline, žutosti i opaciteta. Ispitana opća svojstva na primjer gramatura i debljina važan su faktor u pravilnom odabiru tiskovnih papira te određuju izdržljivost i teksturu papira dok optička svojstva, primjerice bjelina, svjetlina i opacitet, utječu na kvalitetu tiskovnih materijala i vizualni dojam otisnutog sadržaja. Uzorci koji se koriste u ovom istraživanju pripremljeni su prema propisanim standardima za pripremu uzoraka tiskovnih papira. Uzorci su pažljivo odabrani kako bi predstavljali različite tipove tiskovnih papira s različitim općim i optičkim svojstvima. Nakon pripreme provodilo se ispitivanje općih svojstava koje uključuje vaganje mase uzoraka, određivanje debljine te računanje prostorne mase i specifičnog volumena. Kako bi se odredila optička svojstva, koristi se uređaj pod nazivom spektrofotometar, instrumentalna tehnika koja omogućuje kvantitativno mjerenje i analizu optičkih svojstava materijala. Kombinirajući teorijski i eksperimentalni dio, ovaj završni rad pružit će detaljan uvid u teorijske podatke o povijesti, namjeni, sirovinama te općim i optičkim svojstvima. Eksperimentalni dio rada prikazuje samostalno mjerenje i određivanje navedenih svojstava te analizu rezultata.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Povijest proizvodne papira

Povijest papira se dijeli na dva razdoblja koja se odnose na način proizvodnje, odnosno na razdoblje ručne proizvodnje i razdoblje industrijske proizvodnje papira. Kada se govori o povijesti papira koji se izrađivao ručno ona seže davno u povijest, otprilike nekih dvije tisuće godina. Također sirovina poznata pod nazivom papirus preteča je papira kojeg poznajemo u današnjem obliku. Koristio se oko 2600 godina pr. Kr., a proizvodio se od biljke papirus. Kao službena godina nastanka papira kojeg danas poznajemo uzima se 105. godina kad je u Kini Ts' ai Lun predstavio svoj izum caru Yungu Yuanu. [1] Prednost koju je papir imao u usporedbi s materijalom koji se koristio prije njega je njegova brža proizvodnja kao i lakša pohrana. Smatra se da su se kao sirovine koristili razni materijali poput vlakana biljaka (konoplje, trske, rižine slame i slično), niti ribarskih mreža, starih krpa, kora drveta i drugo. Vlakna su se zatim usitnjavala s kamenim mlincima te se u tu usitnjenu smjesu odnosno pulpu dodavala otopina vapna. Pulpa se zatim stavljala na sito koje se izrađivalo od bambusa i svilenih niti te se lagano protiskivalo kroz njega da bi se odvojila voda, a na površini sita ostajala isprepletana vlakanca koja su bila ravnomjerno raspoređena. Listovi papira su se nakon toga skidali sa sita i stavljali na ravne površine gdje bi se sušili na suncu i zraku. Nakon sušenja listovi su se stavljali na kupove i zajedno prešali. Nakon prešanja da bi se postigao sjaj papira, premazivali su ga s ljepilom te ga ponovo sušili i ravnali sa slonovom kosti. [2] Papir se proširio na veliki dio carstva, pa i do Koreje koja je tada pripadala carstvu, te je u 7. stoljeću dospio u Japan. Kasnijih godina ovaj način proizvodnje papira i općenito upotreba papira kao materijala za pisanje proširila se u mnogim zemljama poput Vijetnama, Indije i Perzije. 751. godine Arapi su pobijedivši u bitci od kineskih zarobljenika saznali za tajnu proizvodnje papira te su ustanovili kako je papir kao materijal puno prikladniji za pisanje knjiga te su papirus zamijenili njime za pisanje Kurana. Također Arapi su unaprijedili nastanak papira novim sirovinama i alatima za izradu istog. Koristili su lanene krpe te lan i druge vlaknaste biljke kao osnovnu sirovinu za proizvodnju papira. Oni su prvi izumili odnosno počeli proizvoditi papir u boji te su zaslužni za početak standardizacije formata papira jer su oni svoje papire izrezivali na određene formate, te ih označavali i slagali u pakete s određenim brojem araka. U tom razdoblju započela je arapska proizvodnja papira te je 794. godine napravljena prva državna radionica za proizvodnju papira. Papir kao materijal se proširio i na ostatak

svijeta te se u Europi prvi put javlja u Italiji i/ili Španjolskoj u 12. ili 13. stoljeću. Ovakav način izrade papira i danas se zadržao u Kini, Koreji i Japanu te se može nabaviti u malim količinama za neke posebne vrste poput luksuznih zbirki ili umjetničkih mapa. [1] U Hrvatskoj, tvornice za proizvodnju papira nastaju početkom 18. stoljeća te je prva osnovana 1880. godine u Sušaku. [2]

Potreba za papirom i povećanom proizvodnjom istog porasla je u 15. stoljeću, Gutenbergovim izumom tiskarskog stroja. U tom razdoblju težilo se pronalasku raznih tehnika i rješenja za unaprjeđenje proizvodnje papira te nalaženje raznih sirovina za njegovu proizvodnju. [2]

## 2.2. Osnovne sirovine za proizvodnju papira

Kao što je rečeno kroz povijest nastanka papira prije 2000 godina u Kini su se koristile razne sirovine poput vlakanaca i konoplje, trske, rižine slame te starih krpa i niti od ribarskih mreža. Danas se kao osnovna sirovina smatra drvo odnosno celuloza. Više od 100 godina drvo je najvažnija i osnovna sirovina za proizvodnju papira bilo da se radi o kemijskoj ili mehaničkoj proizvodnji pulpe. Sirovine koje se također koriste za proizvodnju papira su jednogodišnje biljke poput slame, pamuka i trske, zatim krpe i stari papir. Drvo se može preraditi mehaničkim i/ili kemijskim putem za proizvodnju papira. Da bi se dobila pulpa napravljena mehaničkim putem, drvo se mora obrađivati mljevenjem. U tom procesu se s debla drveta oguli kora te se daljnjim procesima mrvli uz neprestano pritiskanje brusnim kamenom koji se vrti. U sljedećoj fazi postupka se dalje fibriliziraju odnosno reduciraju do vlakana i melju.

Kemijska pulpa dobiva se kemijskim putem, a napravljena je od vlaknastih materijala od drva i drugih sirovina poput jute, slame, pamuka i konoplje. Razlika između kemijske i mehaničke pulpe je najčešće u karakteristikama vlakana odnosno kemijska pulpa ih sadrži više i vlakna su čvršća, te je razlika vidljiva i u stupnju bjeline. Razlikujemo dva načina korištenja kemikalija u ovom procesu, a to su sulfatna pulpa (alkalijski proces) i sulfatna pulpa (kiseli proces). Većina kemijskih pulpi koje se proizvode u svijetu su sulfatne, oko 85%. Ona za razliku od sulfitne ima veću čvrstoću, ali također ima i niži stupanj bjeline. Sulfitnoj pulpi potrebno je nešto duže vrijeme kemijske digestije te nakon procesa digestije, slijedi pranje, izbjeljivanje, cijedenje, sušenje i pakiranje. Kemijska pulpa koja se izbjeljuje tako da ne koristi klor naziva se TCF odnosno *Totally Chlorine Free*, što u

prijevodu znači u potpunosti bez klora. Kao zamjena za klor u procesu se koristi kisik i hidrogen peroksid.

Stari papir također je jedan od glavnih izvora za dobivanje celuloznih vlakana, a dobiva se preradom odnosno recikliranjem otpadnog papira te se još nazivaju i sekundarna vlakna. Danas ga se koristi čak do 60% te ima važnu ulogu u proizvodnji papira. Neke posebne vrste papira mogu sadržavati i do 100% reciklirani papir odnosno sekundarnu vrstu vlakana. Recikliranje starog papira mora zadovoljiti dva kriterija, a to su kakva je kvaliteta tih vlakana koja se recikliraju te ekonomsku stranu tog postupka. Za proizvodnju sekundarnih vlakana najvažnija su sljedeća tri postupka: pročišćavanje suspenzije, deinking flotacija odnosno uklanjanje bojila te frakcioniranje što bi značilo strukturiranje prema dužini vlakana. Također je važno napomenuti da postoje ograničenja koliko se puta neka vlakna mogu reciklirati te da je važno stalno dodavati nova, primarna vlakna. [2] Važni dodatci u proizvodnji papira uz primarna ili sekundarna vlakna su keljiva, punila i bojila, a oni se dodaju pulpi kako bi poboljšali fizička, kemijska i mikrobiološka svojstva papira. [3]

### 2.3. Osnovni procesi u proizvodnji papira

Ne početku procesa za proizvodnju papira potrebno je pripremiti sirovine. Kako je ranije spomenuto primarna sirovina je drvo, no postoje i sekundarne poput recikliranog papira, vune ili pamuka. Zatim se treba od izabраних sirovina dobiti pulpu koja se može napraviti kemijskim ili mehaničkim putem. Mehanička pulpa se uglavnom koristi kod papira gdje fizička svojstva i nisu toliko važna kao na primjer novinski papir. Zatim je potrebno napraviti određene procese pripreme prije nego što se stroj napuni pulpom. Pod obradu odnosno pripremu pulpe smatra se uklanjanje nečistoća, izbjeljivanje vlakana i dodavanje punila i aditiva ako je to potrebno da se postignu određena svojstva koja papir mora imati. Izbjeljivanje vlakana postiže se korištenjem optičkih bjelila. Pulpa zatim prolazi kroz papir stroj u kojem postoji sustav valjaka kroz koje prolazi pulpa te se cijedi višak vode. Zatim se iscijeđena pulpa ravna da bi nastala ujednačena papirnata masa koja se ravnomjerno raspoređi po ravnoj površini. Nakon toga slijedi sušenje da se ukloni eventualni višak vode te da se pulpa do kraja osuši. Sušenje se mora provoditi pažljivo kako bi se zadržao oblik i gustoća papira. Doradni postupci provode se opcionalno ovisno o tome kakva svojstva i izgled papira želimo.

Premazivanje služi da bi se poboljšao njegov vanjski izgled odnosno koristi se s namjenom da se utječe na površinska svojstva papira kao što su svjetlina, boja i struktura, hrapavost te da bi se dobila sjajna, polusjajna ili mat površina. [2] Nanošenje premaza smatra se vrlo dobrim načinom dorade papira jer se tako popunjavaju i zatvaraju pore na površini papira. Postoje dvije vrste premazanih papira, a to su jednostrano i obostrano premazani papiri. Jednostrano premazani papiri koriste se kao papiri za umjetnički tisak te se upotrebljavaju za najkvalitetniji i višebojni tisak.

Sljedeće što spada pod doradni postupak, a također se smatra važnim i često se provodi je kalandriranje odnosno satiniranje. Kalandriranjem se postiže glatka i sjajna površina papira te se ono obavlja na superkalanderu (stroj koji spada u strojeve za doradu i predstavlja standardnu opremu tvornice za proizvodnju papira). Postoji više vrsta ovog stroja koje obavljaju različite funkcije odnosno služe za različite vrste i skupine papira. Prema izgledu i konstrukciji dosta su slični strojevima satinerima, no većih su dimenzija te sadrže više valjaka. Kalandriranjem se mogu postići i druga svojstva papira kao što su manja debljina, poroznost i propusnost zraka, a veća prozirnost i prostorna masa. [2]

Zatim impregniranje koje se provodi dodavanjem sredstava za impregniranje na površinu papira ili na početku u pripremi pulpe. Za proizvodnju vodootpornih papira impregniranje se provodi na oba načina. Kad se papir samo površinski impregnira ono samo djelomično prodire u površinu papira, a kad se sredstva dodaju u pulpu ono se raspoređuje po cijelom volumenu papira. [2]

#### 2.4. Podjela papira prema krajnjoj namjeni

Papir se prema namjeni može podijeliti na pisaće, uredske, papire za pisaći stroj, tiskovne, ukrasne, crtaće i omotne papire te specijalne u koje spadaju filter, upijajući, indikator, cigaretni i obojeni papiri. [4] Također papir se može podijeliti u četiri velike grupe, a to su: grafički papir, omotni papir, kartoni i ljepenke te sanitarni i specijalni papiri. Grafički papiri mogu se razvrstati na papire za pisanje, crtanje i tisak. Papiri za pisanje i crtanje ne razlikuju se puno u načinu proizvodnje i po njihovim svojstvima te se od njih zahtjeva da su prikladni za pisanje tintom odnosno da se tinta ne razlijeva prilikom pisanja. To se danas lako postiže s dodatkom keljiva odnosno prirodnih smola prilikom proizvodnje papirnate mase. Tiskovni papir zauzima najveći dio u proizvodnji papira te se može podijeliti na papire za otiskivanje teksta (knjige, časopisi i novine), zatim otiskivanje

ilustracija (plakati, brošure, prospekti i slično) te se iz tog razloga u tiskarstvu koristi puno različitih vrsta tiskovnih papira. Za otiskivanje knjiga koristi se kvalitetan bezdrvni papir koji zbog ilustracija mora biti posebno gladak i zatvorenih pora. Dok se kao novinski papir koristi roto-papir s 90% drvenjače te drugih tvari dobivenih recikliranjem starog papira. Sljedeća vrsta su omotni papiri te kartoni i ljepenke i oni uglavnom nastaju od starog papira te od poluceluloze, sulfitne ili sulfatne celuloze. Papir je najčešći materijal koji se upotrebljava za ambalažu. Zadnja podjela su sanitarni papiri koji zauzimaju najmanji udio u proizvodnji papira, ali danas je sve veći porast njihove proizvodnje. U sanitarne papire spadaju toaletni papir, papirnati ručnici, maramice, ubrusi, stolnjaci i krevetne presvlake u bolnicama te njihovom proizvodnjom se zamjenjuje upotreba tekstila za navedene namjene. Specijalni papiri posjeduju najrazličitiju namjenu i svojstva. U te papire spadaju filter papiri, kondenzatorski papiri, papiri za oblaganje i za izradu etiketa, tapeta, dekoracija te fotografski, cigaretni i indikatorski papiri. [5]

#### 2.4.1. Papiri za tisak

Tiskovni papiri kako im sam naziv govori namijenjeni su za tisak te uključuju različite vrste papira koje se koriste za različite vrste tiska i onoga što će biti otisnuto na njima. Postoje različite vrste tiskovnih papira, a to su uredski bijeli papir, umjetnički papir, premazani i fotografski papir te karton. Uredski papir se najčešće koristi za tiskanje svakodnevnih dokumenata. Može dolaziti u različitim veličinama, ali najkorištenija je u A4 formatu, također je vrlo lagan i ima glatku površinu. Ova vrsta papira pogodna je za crno- bijeli tisak kao i za tisak u boji, ali nije najprikladniji za vrhunsku kvalitetu ispisa. Zatim imamo umjetnički papir koji je namijenjen za visokokvalitetni tisak slika, raznih grafika i umjetničkih djela. Može biti različitih debljina i različitih površina (mat, polusjajne i sjajne). Najčešće se proizvodi od kvalitetnih vlakanaca i ima dobru otpornost kako bi se osigurala dugotrajna kvaliteta ispisa. Sljedeća vrsta tiskovnih papira su premazani papiri koji imaju premazani sloj na svojoj površini koji omogućuje glatkost i sjaj površine. Premaz također omogućuje bolju reprodukciju boje, oštre detalje i veću otpornost otiska. Kao i umjetnički papiri može imati mat, polusjajnu ili sjajnu površinu. Posljednji tiskovni papir je fotografski papir koji je posebno namijenjen za ispis fotografija s visokom rezolucijom i reprodukcijom boja. Također kod ovih papira površina može biti premazana mat ili sjajnim premazom ovisno o tome kakav konačan rezultat želimo dobiti nakon ispisa. Sjajni fotografski papir omogućuju reflektirajuću pozadinu koja bolje ističe boje i detalje, dok mat papir ne pruža reflektiranje. Uz ovu

podjelu papira postoje i vrste papira koje su namijenjene za posebne vrste tiskarskih tehnika poput sitotiska, offseta, digitalnog tiska i tako dalje. [6]

U eksperimentalnom djelu rada koristili su se tiskovni papiri, a to su Splendorgel extra white, Fedrigoni akvarel, voluminozni i UPM uredski papir.

#### 2.4.2. Svojstva papira za tisak

Papir za tisak podrazumijeva materijal za ispisivanje teksta, slika ili grafika različitim tehnikama tiska, neka od glavnih svojstva tiskovnih papira su veličina, debljina, glatkost, bjelina, otpornost na vlagu, brzo upijanje tinte odnosno upojnost te prozirnost i održivost. Pod veličina papira smatra se to da papiri dolaze u različitim veličinama, a najčešće su to formati A4 i A3 te oni spadaju u standardne veličine. Zatim pod debljinu papira podrazumijeva se svojstvo papira koje se mjeri u gramima po kvadratnom metru ( $g/m^2$ ). Različite tehnike tiska i namjene zahtijevaju različite debljine papira, a standardna debljina papira je između  $60 g/m^2$  (lakši papir) i  $120 g/m^2$  (teži papir). Glatkost papira utječe na kvalitetu ispisa, te glatki papiri omogućuju oštrije i detaljnije ispisivanje slike i teksta, dok hrapaviji papiri mogu rezultirati manjoj preciznosti ispisa zbog svoje reljefne i nejednake površine. Bjelina papira važno je svojstvo kad je riječ o prikazu boje i teksta. Papiri s većom bjelinom pružaju jasnije razlikovanje boja te se u tisku kao standardna bjelina uzimaju papiri bjeline od 80% do 100%. Kvalitetan papir za tisak trebao bi biti otporan na vlagu kako bi se izbjeglo da dođe do deformacija odnosno valovitosti prilikom izlaganja vlažnim uvjetima. Upojnost je također važno svojstvo papira iz razlog što bi se trebalo izbjeći razmazivanje boje i tekstualnog sadržaj prilikom otiskivanja. Prozirnost papira odnosi se na svojstvo koje je vrlo važno prilikom otiskivanja s obje strane papira. Papir mora zadovoljavati ovo svojstvo da bi se omogućio jasan prikaz otisnutog sadržaja s obje strane. Kao zadnje svojstvo navodi se održivost odnosno ekološka prihvatljivost papira te se ekološki prihvatljiviji papiri smatraju oni proizvedenih od recikliranih materijala. Različiti papiri imaju različite karakteristike, stoga je važno razmotriti sve aspekte prije donošenja odluke o odabiru papira za tisak. [7]

## 2.5. Opća svojstva papira

Opća svojstva papira su debljina, gramatura, prostorna masa, specifični volumen te upojnost koju možemo podijeliti u dvije skupine, a to su kapilarna i površinska upojnost.

Debljina papira je svojstvo koje mjeri odnosno označava koliko je neki papir debeo ili tanak. Može se mjeriti iz puno razloga te je važan segment u mnogim industrijama i svakodnevnim primjenama kao na primjer u tiskanju ili određivanju nekih svojstava papira. Debljina papira ovisi o vrsti papira bilo da se radi o standardnim papirima, kartonima ili ljepenrama. Mnogo prednosti u kontroliranju proizvodnje papira donosi podatak koji dobijemo mjerenjem debljine pa tako možemo provjeriti ujednačenost proizvodnje na papir stroju, potrebna je za izračunavanje prostorne mase te je izrazito bitna za provjeravanje jednolične debljine kod specijalnih papira koje služe za izrađivanje voznih karti ili brušenih kartica. Kod njih je to posebno bitno jer su aparati za provjeru voznih karti podstavljeni za provjeru samo jedne debljine papira te i najmanje promjene u debljini mogu poremetiti njegov rad. Također debljina papira može utjecati na različita svojstva kao što su savijanje papira te prolazaka papira kroz tiskarski stoj i ostale faze u obradi i doradi papira. Između ostalog utječe i na dobivanje pravilnog i jednoličnog nanosa boje odnosno dobivanje otiska na papiru. Dozvoljena su minimalna odstupanja u proizvodnji papira jer bi se u suprotnom, ako se radi o velikim odstupanjima, govorilo o velikim greškama u tisku kada otiskujemo veću količinu araka. Na debljinu se može utjecati u samoj izradi papira na natoku papir stroja i pri kalendriranju odnosno glačanju već napravljenih papira. Objašnjavanjem pojam debljina papira ona se može definirati kao udaljenost dviju stranica koje su paralelne. Vrijednosti debljine kreću se od minimalne koja iznosi 0,006 mm te je to debljina cigaretnog papira, pa do nekoliko milimetara kolika je debljina kartona i ljepenki. Postoji nekoliko metoda kojima možemo izmjeriti debljinu papira, a kao uobičajena odnosno standardna metoda upotrebljava se mjerenje na uređaju odnosno instrumentu pod nazivom mikrometar. Mjerenje se provodi tako da uzorak papira umetnemo između dvije mjerne plohe koje su metalne i paralelne te se dobiveni rezultati izražavaju u milimetrima. Kao i kod svih mjerenja pa tako i kod mjerenja ovog općeg svojstva papira, provodi se ispitivanje po nekom standardu. Ovdje se mjerenje provodi po Tappi T 441 ili ISO 534:2001 standardu. Da bi se mjerenje provelo na ispravan način površine između kojih se ulažu uzorci da bi se vršilo ispitivanje moraju biti glatke i paralelne te moraju biti prikladne veličine s određenim pritiskom i stalnim opterećenjem koje iznosi  $1 \pm 0, 10 \text{ kp/cm}^2$ . Svi uzorci koji se ispituju moraju se

klimatizirati u standardnim uvjetima koji podrazumijevaju 50% relativne vlažnosti zraka i temperaturu od 23°C. Vrlo je važno provjeriti čistoću površine uzoraka da ne bi došlo do pogrešnog izračunavanja debljine papira zbog nakupljenih vlaknaca ili nepravilnosti na površini papira. Prema standardu debljina papira mjeri se najmanje 20 puta da bi mogli izračunati prosječna vrijednost. Također po standardu imamo dva tipa mjerenja, a to su mjerenje u pojedinačnog lista papira (kad je debljina veća od 0,04 mm) te mjerenje u snopu listova ono se najčešće provodi na 5 listova čija je debljina manja od 0,04 mm. Uz to treba voditi računa na to da se prilikom mjerenja sva mjerenja provode na istoj strani odnosno obratiti pozornost koja se strana mjeri, pustena ili sitova. Kada se mjeri samo jedan list papira, zadano je da epruvete moraju biti minimalne veličine 60 x 60 mm, a mjerno mjesto mora biti najmanje 20 mm od ruba. Kad se radi o mjerenju više listova odnosno snopu, dimenzija koju bi epruveta trebala imati je najmanje 200x 250 mm i udaljenost mjernog mjesta najmanje 40 mm od ruba. Za kraj nakon provedenog mjerenja (najmanje 20 puta) potrebno je izračunati aritmetičku sredinu dobivenih rezultata u slučaju kad se mjerenje provodi na pojedinačnim listovima. Ako se mjerenje provodilo na snopu listova također je potrebno izračunati aritmetičku sredinu, ali dobiven broj potrebno je podijeliti s brojem listova u snopu. [8]

Gramatura papira ili površinska masa mjera je koja označava masu papira po kvadratnom metru te je jedinica za gramaturu u SI sustavu  $g/m^2$ ). Sve sastavnice kao što su punila, vlakna i količina vlage u papiru koja je uvijek prisutna određuju vrijednost gramature papira. Gramatura je važan faktor pri odabiru papira za određene namjene te se upravo ona koristi kao najčešća mjera za klasifikaciju papira, prema kojoj se u papirnoj industriji radi podjela na papire, kartone i ljepenke. Ne postoji stroga granica koja označava razliku između ove tri vrste, ali se često koristi podjela prema Klemmu koja nalaže da je granica za papir od 6 do  $150 g/m^2$ , za kartone od 250 do  $500 g/m^2$  te za ljepenke ta granica iznosi od 600 do  $5000 g/m^2$ . Gramatura koja se nalazi između ovih vrsta proizvoda odnosi se na obje vrste. Da bi izračunali masu najpreciznije ju je izračunati gravimetrijski odnosno vaganjem na preciznoj vagi gdje mjerimo više uzoraka veličine 10x10 cm te iz dobivenih rezultata izračunamo aritmetičku sredinu. Gramatura se izračunava po formuli  $g = \frac{m}{A} \cdot 10000$  gdje m predstavlja masu papira u gramima, A predstavlja površinu papira u centimetrima na kvadrat, a g predstavlja gramaturu papira u gramima po metru kvadratnom. Kao i kod debljine papira ispitivanje se provodi prema standardima te se kod ovog svojstva provodi standardom ISO 536 i Tappi T 410. Uzorci koji se važu, režu se pomoću preciznog noža i važu na vagi koja prikazuje rezultat s točnosti od  $\pm 0,2\%$ . Prije



nego su se počele koristiti digitalne analitičke vage koristile su se kvadratne vage na kojima su se uzorci veličine 10x 10 cm izrezivali pomoću šablone. Kvadratne vage nisu toliko precizne kao analitičke vage te posjeduju skalu s koje se, tijekom mjerenja, odmah očitava gramatura. Analitičke vage su u potpunosti zamijenile stare kvadratnog vaga te se svi izračuni provode na preciznim analitičkim laboratorijskim vagama. Prema standardu se pomoću preciznog noža izrezuje po 20 uzoraka koji su veličine 10 x 10 cm. te se kao i kod ispitivanja debljine papira uzorci moraju klimatizirati na 50% relativne vlažnosti zraka i temperaturu od 23°C. Na kraju kad se izvažu svi uzorci odredi se aritmetička sredina mase papira te se gramatura izračuna po ranije spomenutoj formuli. Odabir odgovarajuće gramature papira ovisi o specifičnim potrebama i namjeni. Na primjer, za tiskanje letaka ili brošure može se preferirati papir veće gramature kako bi izgledao kvalitetnije i izdržljivije. S druge strane, za svakodnevno pisanje i printanje na kućnom pisaču, niža gramatura papira je dovoljna. [8]

Prostorna masa još se naziva i gustoća papira te ona može varirati ovisno o vrsti papira, sastavu vlakana, gramaturi i drugim parametrima papira. Na primjer, ako je gramatura papira veće bit će i veća i gustoća papira odnosno prostorna masa jer papir sadrži više vlakana u jedinici volumena. Uz to na prostornu masu također utječe i količina dodataka koji se dodaju u proizvodnji papira kao na primjer punila, keljiva i bojila te načini obrade papira, odnosno pulpe, mljevenjem, sušenje i naknadne obrade poput satiniranja. Također je važno napomenuti da se gustoća papira može razlikovati unutar iste vrste papira jer ovisi o proizvodnom procesu i korištenim materijalima te je važno izvršiti testiranje ako nam je potreban podatak kolika je gustoća nekog papira. Prostorna masa pokazatelj je kolika količina zraka se nalazi u papiru te može utjecati na optička i mehanička svojstva - strukturu papira, prozirnost i njegovu kompaktnost te također može utjecati na fizičke karakteristike papira - čvrstoća, fleksibilnost i sposobnost apsorpcije boje. Papiri koji imaju veću gustoću obično su čvršći i manje upijaju boju za razliku od papira manje gustoće. Prostorna masa predstavlja se kao masa jednog kubičnog centimetra nekog uzorka na kojem je provedeno ispitivanje te se izračunava formulom za koju nam je potrebna gramatura i debljina papira. Formula glasi  $y = \frac{x}{d \cdot 1000}$  gdje y predstavlja oznaku za prostornu masu ( $g/cm^3$ ), x u formuli predstavlja gramaturu ( $g/m^2$ ), a d debljinu koja je izražena u milimetrima. Prostorna masa ima široke granice koje idu od 0,30  $g/cm^3$  kod vrlo upojnih papira do 1,35  $g/cm^3$  kod pergamin papira. [9] Često se u praksi više izračunava specifični volumen nego prostorna masa.

Specifični volumen je volumen koji se može definirati kao jedan gram ispitivanog papira. Izračunava se po formuli koja specifični volumen navodi kao omjer debljine i gramature, a glasi  $\frac{1}{y} = \frac{d}{x} \cdot 1000$  gdje  $\frac{1}{y}$  predstavlja specifični volumen izražen u  $cm^3/g$ , d označava debljinu u milimetrima, a x označava gramaturu u  $g/m^2$ . Za papire se može reći da imaju jednostruki, jedan i pol struki ili dvostruki volumen. [8]

## 2.6. Optička svojstva

Papir svjetlosne zrake može primiti na tri načina a to je apsorpiranjem, propuštanjem ili reflektiranjem. Pri dolasku svjetlosnih zraka na papir jedan dio njih se odbija od površinu pod istim kutem pod kojim je i upao to se još naziva i zrcalna refleksija, dok se drugi dio prodiranjem u papir raspršuje u svim smjerovima. Pa zaključujemo da će se svjetlosne zrake koje prođu u papir susresti s kompliciranom strukturom koja se nalazi unutar papira, a sačinjena je od celuloznih vlaknaca, čestica punila i zraka. Iz tog razloga svjetlosne zrake se reflektiraju od vlaknaca i čestice punila koje se nalaze unutra te također prodire u celulozna vlakna gdje se apsorpiraju ili dolazi do loma u različitom smjeru. Difuzno reflektirane svjetlosne zrake koja dolaze do površine nakon što su se dogodile brojne refleksije i lomovi unutar papira naš mozak doživljava kao bijelu površinu papira. Kod optičkih svojstva podjela se može napraviti na nekoliko različitih pojmova, a to su svjetlina, bjelina, transparentnost, opacitet i sjaj. Optička svojstva koje sam navela imaju vrlo važnu ulogu za grafičare jer konačan izgled njihovog proizvoda znatno ovisi o optičkim svojstvima nekog papira odnosno podloge. [10]

Za pravilno određivanje optičkih svojstava koristi se uređaj pod nazivom spektrofotometrom to je uređaj koji određuje podatke koji se nalaze u spektru elektromagnetnog zračenja. Ovim uređajem mogu se izmjeriti razni parametri poput svjetline, bjeline, transparentnosti i opaciteta papira. Postoje tri glavne sastavnice ovog uređaja, a to su izvor zračenja, monokromator i detektor. Monokromator je optički instrument koji selektivno dopušta prolaz samo jednoj valnoj duljini svjetlosti koja pada na njega. On je obično sastavljen od optičke rešetke ili prizme, a ponekad i optičkog filtera. Možemo sami izabrati valnu duljinu svjetlosti koju želimo da monokromator propusti, odabirom ugla pod kojim će svjetlo upadati na optičku rešetku ili prizmu. Nakon što se svjetlosna zraka odbije od površinu papira ona dolazi do optičkog filtera kroz koji prolazi i nakon toga se mjeri foto-detektorom ili foto-osjetljivim diodama te svaka dioda

mjeri drugu valnu duljinu. Kada se ispituje sa spektrofotometrom važno je naglasiti da se ispitivanje provodi na snopu papira te se snop mora sastojati od najmanje pet araka papira. Iznimno optičko svojstvo koje se ne mjeri u snopu je opacitet. Kad se govori o standardima koje treba ispuniti kod mjerenja optičkih svojstava, važna je klimatizacija uzoraka kao kod svih dosadašnjih mjerenja koja se opisuju u rad te je iznimno važno označiti sitenu i pustenu stranu papira jer se one razlikuju po svojstvima, odnosno gornja strana papira (pustena) je više popunjena s punilima nego donja (sitena) strana. Sitena i pustena strana najčešće se označavaju kao A i B strane. [10]

Svjetlina papira je jedan od ključnih optičkih svojstva papira te se definira kao sposobnost papira da odbije ili primi svjetlost. Postoje dva glavna razloga koja utječu na svjetlinu papira, a to su apsorpcija svjetlosnih zraka i raspršivanje svjetlosnih zraka. Svjetlina se kao i ostala optička svojstva mjeri sa spektrofotometrom te mora zadovoljavati određen standard ISO 2470:1999. Kad se definira svjetlina papira navodi se da je to omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla ( $\lambda = 457 \text{ nm}$ ) s površine neprozirnog uzorka papira (list papira u snopu) prema stupnju refleksije idealnog reflektirajućeg tijela. [10] Svjetlina se izražava u postocima. Može se mjeriti na dva načina, a to su s uključenim i isključenim UV svjetlom. Također mjerenje svjetline smatra se metodom koja kontrolira proces bijeljenja za vrijeme nastanka papira. Važno je napomenuti da papiri mogu imati sličnu ili istu svjetlinu ali se razlikovati u bjelini. [10]

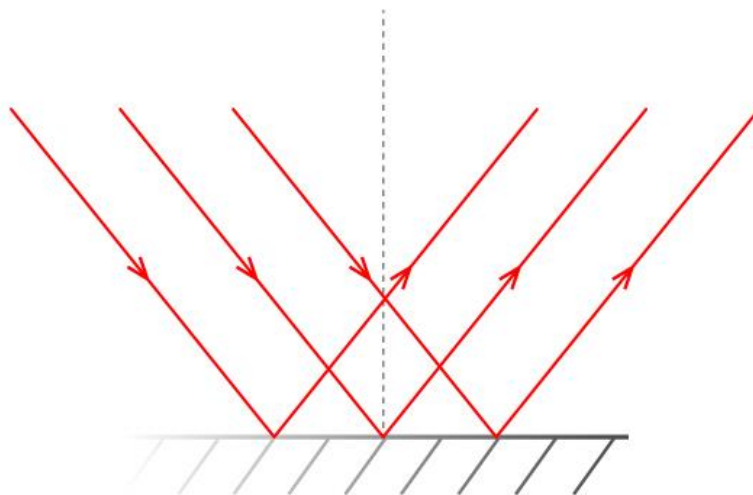
Bjelina je također važno optičko svojstvo papira te se za postizanje visokog stupnja bjeline moraju upotrebljavati kvalitetno bijeljena vlakna, punila koja imaju velik stupanj bjeline, plavila te posebni dodatci poput optičkih bjelila koja dodatno povećavaju stupanj bjeline. Definiranjem pojam stupanj bjeline govori se o postotku kojem se neki uzorak koji se ispituje približava idealno bijelom. Kao idealno bijelo uzima se već unaprijed dogovoren magnezijev oksid ( $\text{MgO}$ ) koji se smatra idealno bijelim te je stupanj njegove bjeline 100%. Postoje i drugi kemijski spojevi koji se mogu uzimati kao referentni modeli u uspoređivanju bjeline, pa se tako može koristiti i etalon barij sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) čiji je stupanj bjeline 96%. Bjelina papira predstavlja stupanj difuzne refleksije svjetlosti svih valnih duljina s površine uzorka kroz cijeli spektar vidljive svjetlosti. [10] Kao i ostala svojstva bilo da se radi o općim ili optičkim, postoji standard po kojem se mora provoditi ispitivanje u ovom slučaju je to standard ISO 11475:1999. Spektrofotometar mjeri refleksiju svjetlosti u dijelu spektra koji je vidljiv ljudskom oku te se tako može odrediti stupanj bjeline. Osvjetljavanje uzorka provodi se na vanjskom dnevnom svjetlu, odnosno koristi se iluminant D65. [10]

Opacitet papira može se definirati kao nepropusnost svjetla odnosno omjer refleksije svjetlosti s površine pojedinog lista papira postavljenog iznad crne podloge (gdje je refleksija manja od 0,5%) prema refleksiji istog lista kada je osvijetljen jakim snopom svjetlosti (tako jakim da kroz njega ne može proći svjetlost). Opacitet se izražava u postotcima. Na njega mogu utjecati razna svojstva papira od općih do optičkih, kao što su debljina papira, vrsta vlakana, stupanj bjeline te dodatci poput premaza, bojila ili punila. Standard kojim se određuje opacitet odnosno neprozirnost papira je ISO 2471:1998. Svrha za što će se određeni papir koristiti zahtjeva različit neprozirnost papira, pa iz tog razloga papir poput paus i pergament papira moraju imati niski stupanj opaciteta odnosno biti prozirni. Dok papiri namijenjeni za tisak ili izradu kuverti moraju imati visok stupanj opaciteta i ne smiju se prozirati. Karakteristične vrijednosti neprozirnosti papira za pojedine papire su sljedeće. Na primjer paus papir koji zahtjeva nizak stupanj opaciteta u pravilu se kreće od 25 do 40% prozirnosti, dok na primjer novinski papir ima visok stupanj neprozirnosti i on iznosi do 90%. [10]

Transparentnost je mogućnost papira da propusti difuzno upadno svjetlo. Kao i opacitet, transparentnost se izražava u postotcima. Za vrijeme mjerenja ovog optičkog svojstva se postavljaju iznad bijele i crne površine. Prvo se mjeri uzorak kad se nalazi iznad bijele površine koja ima stupanj bjeline veći ili jednak 80%, te se računa stupanj refleksije. Kada se izmjeri iznad bijele površine uzorak se stavlja iznad crne, kojoj je stupanj bjeline ispod ili jednak 6,5%, te se također mjeri stupanj refleksije. Transparentnost i neprozirnost papira su u obrnuto proporcionalnom odnosu, odnosno papiri koji imaju veliki postotak transparentnosti imaju jako mali ili nikakav stupanj neprozirnosti i obrnuto. Transparentni papiri se izrađuju od celuloze koja se obrađuje kroz masno mljevenje kako bi se postigla pergamentna tekstura. [10]

Zadnje optičko svojstvo je sjajnost papira. Sjajnost papira može se definirati kao reflektirajuće zrake svjetlosti s površine nekog papira. No, isti papir može na svojoj površini imati nepravilnosti te se površina može razlikovati. Svjetlo koje na nju pada i difuzno se reflektira može dati dojam da površina nije sjajna odnosno da je manje sjajna nego što zapravo je. Ako se dio svjetlosti zrcalno reflektira na površini papira (gdje je kut refleksije jednak kutu upada), to će znatno utjecati na sjaj površine papira. Kad se mjeri sjaj nekog papira potrebno ga je usporediti sa sjajem standarda te se računa koliko dio svjetla se reflektirao od površinu pod istim kutem kojim je upao. Uzorak će biti sjajniji što je taj dio koji se računa veći. Također mjerenje se odvija tako da se osvijetli površinu nekog uzorka koji se ispituje s paralelnom svjetlošću te se bilježi zrcalna refleksija svjetla,

kutevi koji se koriste u toku mjerenja su  $75^\circ$ ,  $60^\circ$  ili  $20^\circ$ . Kao i kod ostalih svojstava postoji standard po kojem se mjeri, a to je Tappi T480. Sjajnost papira vrlo je bitna kod tiska časopisa i reklamnih publikacija, te ako sjajnost nije velika može se povećati kalendrivanjem, premazivanjem i glačanjem premaza. [10]



*Slika 1. Zrcalna refleksija*

Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/6b9de2eb-c6d7-412b-8afc-c0820325b64d/zakoni-geometrijske-optike.html>

## 2.7. Utjecaj optičkih bjelila na bjelinu papira

Optička bjelila definiraju se kao bezbojni ili lagano obojeni fluorescentni spojevi te se koriste jer površina nekog papira može izgledati žućkasto zbog apsorpcije određenog dijela upadnog svjetla, posebno UV i svjetla plavog dijela spektra. To uzrokuje smanjenu refleksiju svjetla u odnosu na količinu upadnog svjetla. Dodavanjem malih količina optičkih bjelila moguće je postići visok stupanj bjeline celuloze i papira. Optička bjelila djeluju tako da apsorbiraju nevidljivo UV svjetlo i ponovno ga emitiraju kao vidljivo svjetlo. To kompenzira žućkasti ton papira dodatnom emisijom plavog svjetla, te poboljšava svjetlinu papira. Poboljšana svjetlina papira postiže se dodavanjem zraka koje su nastale transformacijom ultraljubičastih zraka, kako bi se reflektiranim zrakama dodale nove zrake. Da bi ustanovili koliki je postotak optičkih bjelila u papiru provodimo mjerenje fluorescentnosti papira. Fluorescencija je mjera količine fluorescentnog sredstva za posvjetljivanje prisutnog u papiru. [10] Povećanje ukupne refleksije vidljivog svjetla s obrađenim materijalom rezultat je zakona zrcalne simetrije u procesu fluorescencije. To

se događa jer se maksimalna apsorpcija nalazi u nevidljivom dijelu spektra, dok je maksimalna emisija u kratkovalnom dijelu vidljivog spektra. Različita optička bjelila mogu postići maksimalnu emisiju pri različitim valnim duljinama, što omogućuje postizanje bjeline u različitim nijansama. [11] Optički agensi za osvjetljavanje apsorbiraju UV svjetlost i ponovno je emitiraju kao vidljivo plavo svjetlo. Svi papiri visoke bjeline sadrže značajan udio optičkih bjelila. Vrijednost fluorescencije manja od 5 ukazuje na vrlo nisku prisutnost optičkih bjelila. Da bi se postigao dobar učinak optičkog osvjetljivanja, prvo je potrebno temeljito kemijski izbijeliti materijal. Koncentracije optičkih bjelila koje se primjenjuju strogo su određene, jer uporaba većih koncentracija može rezultirati smanjenjem intenziteta fluorescencije. U smjesi koja se obrađuju ne bi trebale biti prisutne tvari koje smanjuju fluorescenciju (na primjer metalni ioni) te bi izvor svjetla trebao biti obogaćen UV zrakama. Ako se želi postići bolje optičko bijeljenje mogu se dodati plava i ljubičasta boja u smjesu što bi trebalo smanjiti ukupnu emisiju s materijala te bi se trebao povećati nivo bjeline zato što emisija svjetla naginje u neutralno bijelo područje. Optička bjelila najviše se primjenjuju u industrijama poput industrije deterdženta, papira i tekstilna industrija. [11]

## 2.8. Dvostranost papira

Dvostranost papira je neželjeno svojstvo koje se očituje u izgledu i karakteristikama donje i gornje strane papira (sitove i pustene strane). Koliko će dvostranost papira biti prisutna u nekom papiru znatno ovisi o sirovinama i tehnologiji koje koristimo u proizvodnji. Dolazi do razlikovanja u gornjoj i donjoj strani lista papira te je donja strana odnosno sitova strana hrapavija i ravnija jer se ona u papir stroju postavlja na sito, a gornja ili pustena strana je glatka i neravna. Ovaj problem se može do neke mjere ublažiti satiniranjem. Dvostranost papira također podrazumijeva da će doći do razlikovanja u bjelini, glatkoći i upojnosti papira. Kako je već navedeno ranije donja strana papira (sitova) je hrapavija i ima veću upojnost, pa se iz tog razloga gornja strana (pustena) koristi za tisak da ne bih došlo do smanjenje reprodukcije tonских vrijednosti. Izražena dvostranost postaje očita kod papira koji ima visok udio punila, posebno ako udio punila prelazi 15%. Tijekom procesa formiranja papira na traci, sitne čestice punile se ispiru s donje strane, dok je na gornjoj strani papira zastupljena znatno veća koncentracija punila, što rezultira razlikom u kvaliteti tiska na obje strane. Osim vlaknaca različite dužine, suspenzija također sadrži čestice koje su znatno manje od prosječnog vlakna. Te čestice

uključuju punila, bojila, kao i brašnaste i sluzave tvari. Tijekom početne faze odvodnjavanja na sitovoj strani dolazi do povlačenja sitnih čestica s gornje strane prema unutrašnjosti lista. Kada se papir dovoljno zgusne, dolazi do ispiranja manjih čestica sa sitove strane, što rezultira normalnim udjelom punila na gornjoj strani i niskim udjelom punila na sitovoj strani. Dvostranost je također moguća i na papirima koje u svome sastavu imaju drvenjaču, jer je donja strana obogaćena drvenim vlaknima dok gornja strana sadrži više punila, te i tu dolazi do razlike u kvaliteti otiska. Prednost donje strane je to što se papir manje praši. Da bi se smanjila dvostranost, na papir stroju su se sita počela postavljati s gornje i s donje strane te se provodi odvodnjavanje papira u dva smjera. Razlika u sitovoj i pustenoj strani papira ustanovljuje se na nekoliko načina odnosno ispitivanja, a to su prostim okom ili pod malim povećanjem, u količini punila ili optičkih bjelila jer je na gornjoj strani veći stupanj bjeline, ispitivanjem površinske upojnosti te vlaženjem papira s nekom otopinom za vlaženje jer tada dolazi do bubrenja vlaknaca. [12]

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Materijali

Ekperimentalni dio rada započeo je odabirom materijala na kojima se provodilo ispitivanje.

Odabrane su sljedeće četiri vrste materijala (tiskarskih papira):

- Splendorgel extra white
- Fedrigoni akvarel
- Voluminozni papir
- UPM office papers

Splendorgel papiri i kartoni spadaju u grupu papira/kartona visoke finoće, izrađeni su od ekološki prihvatljive ECF (*elementary chlorine free*) pulpe te imaju glatku i baršunastu površinu. Imaju ekstremno bijelu boju vjerojatno jer se u proizvodnji kao dodatak vlaknima dodaju optička bjelila. Splendorgel papiri zbog svoje glatкости odlični su za

naljepnice, omote i luksuzne brošure. Papiri gramature 85 g/m<sup>2</sup> i 100 g/m<sup>2</sup> posebno su prikladni za memorandume i pisaće papire. Papiri veće gramature preko 230 g/m<sup>2</sup> laminiraju se tijekom proizvodnje. Ova vrsta papira pogodna je za većinu glavnih tehnika tiska, a to su: visoki tisak, offset, sitotisak, slijepi tisak, vrući tisak folijom te termografija. Tinta koja se upotrebljava za otiskivanje na ovakvoj vrsti papira mora se sušiti oksipolimerizacijom. [13]

Fedrigoni akvarel je nepremazan papir. Poput Splendorgel papira, proizveden je od ECF (*elementary chlorine free*) pulpe. Fedrigoni akvarel papir karakterizira visoku otpornost na vlagu i zadržavanje boje. Njegova površina je obično glatka ili blago teksturirana, što omogućuje dobru kontrolu nad bojama i pigmentima akvarelnih boja. Također ima visoku gramaturu, što mu daje stabilnost i otpornost na uvijanje. Ovaj se papir najčešće koristi za slikanje akvarelom. Također nerijetko se koristi i u tisku gdje se može koristiti u različite svrhe. Iako je prvobitno namijenjen slikanju akvarelom, ovaj se papir može koristiti i za tiskanje različitih vrsta umjetničkih reprodukcija, razglednica, pozivnica, brošura, knjiga ili drugih tiskanih materijala koji zahtijevaju visoku kvalitetu i poseban efekt. Njegova tekstura može pružiti dodatnu dimenziju vizualnom dojmu i dodatnu vrijednost takvim proizvodima.

Voluminozni papir je vrsta papira koja se ističe po povećanom volumenu i debljini u usporedbi s uobičajenim vrstama papira. Ovaj tip papira karakterizira veća mekoća i otpornost na gužvanje. Voluminozni papir ima povećanu prozračnost, što upućuje na to da ima veći volumen zraka između vlakana u papira, te ga to čini mekšim na dodir. Proces proizvodnje voluminoznog papira uključuje primjenu posebnih tehnika i dodataka koji poboljšavaju volumen papira. Dodaci koji se koriste mogu uključivati kemikalije koje povećavaju mekoću, kao i punila koja pridonose povećanju volumena papira. Ove tehnike i dodaci pružaju voluminoznom papiru bolju ispunu i strukturu, što rezultira povećanom debljinom i volumenom. Voluminozni papir često se koristi u tiskarskoj industriji za proizvodnju različitih materijala, poput brošura, letaka i prospekata. Njegova debljina i volumen čine ga atraktivnim za dodatnu estetiku i vizualni dojam tiskanih materijala.

UPM uredski papir namijenjen je za sve opće uredske i svakodnevne potrebe. Pruža visokokvalitetan otisak, glatku površinu i pouzdanu izvedbu pri kopiranju i ispisu. Ima glatku površinu koja omogućuje lako pisanje, kopiranje i ispisivanje. UPM Office papir dostupan je u različitim gramaturama i veličinama, pružajući fleksibilnost pri odabiru pravog papira za različite uredske zadatke. UPM Office Papers je poznat po svom stalnom fokusu na održivost. Njihovi proizvodi obično imaju certifikate poput FSC (*Forest*



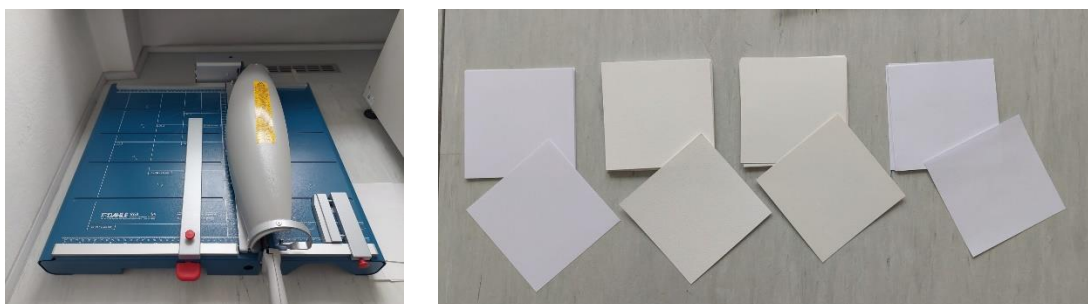
*Stewardship Council*) i PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification*), što potvrđuje da se koristi drvo iz održivo upravljanih izvora. [14]

### 3.2. Metode

Metode koje su se koristile u ispitivanju uzoraka u eksperimentalnom dijelu rada odnose se na metode ispitivanja općih i optičkih svojstva papira. Za ispitivanje općih svojstava papira, provodila su se mjerenja mase i debljine papira te se nakon toga određivala gramatura, prostorna masa i specifični volumen ispitivanih uzoraka. Za optička svojstva papira provodila su se ispitivanja bjeline, udjela žutih tonova u papiru (*yellowness*), svjetline i opaciteta ispitivanih uzoraka.

Sva provedena ispitivanja su prema standardnim metodama. Ispitivanje se provodilo u laboratorijskim uvjetima prema metodi ISO 187, što podrazumijeva klimatizaciju papira na temperaturu od 23 °C ( $\pm 1$  °C) i relativnu vlažnost zraka od 50% ( $\pm 2\%$ ). Standardima su određene metode i uređaji kojima se ispitivanje određenih svojstva papira provodilo te je propisan način obrade rezultata s pripadajućim mjernim jedinicama.

Prije početka mjerenja općih i optičkih svojstva papira potrebno je pripremiti uzorke na standardom propisanu veličinu i izrezati potreban broj uzoraka za ispitivanje. Potrebno je izrezati po 10 uzoraka od svake vrste papira koja se ispituje na dimenzije 10 x 10 cm. Za rezanje uzoraka koristi se stroj za precizno rezanje - giljotina. Prema pravilu uzorci koji se ispituju ne smiju biti otisnuti, ne smiju imati nikakve pregibe, oštećenja niti vodeni žig.



*Slike 2. Giljotina za rezanje papira i izrezani uzorci*

Izvor: Vlastiti izvor

### 3.2.1. Određivanje gramature papira

Gramatura, površinska masa ili masa jedinične površine je masa jednog kvadratnog metra papira, kartona ili ljepenke izražena u gramima. [8] Mjerna jedinica u Si sustavu za gramaturu papira je  $g/m^2$ . Vrijednost gramature je određena svim komponentama koje ispitani uzorak sadrži, kao što su punila, vlakna i određena količina vlage koji je prisutna u svakom uzorku papira u određenim klimatizacijskim uvjetima. Gramatura je potrebna kako bi se papir mogao klasificirati na papire, kartone i ljepenke. Stroga granica između papira, kartona i ljepenki ne postoji, ali najčešće se koristi podjela prema Klemmu, prema kojoj su papiri gramature od 6 do  $150 g/m^2$ , kartoni od 250 do  $500 g/m^2$ , a ljepenke od 600 do  $5000 g/m^2$ . Vrijednost gramature između ovih vrsta odnose se na obje vrste.

Za izračunavanje gramature koristi se formula:

$$g = \frac{m}{A} \cdot 10000$$

(1)

m – masa papira (g)

A – površina papira ( $cm^2$ )

g – gramatura ( $g/m^2$ )

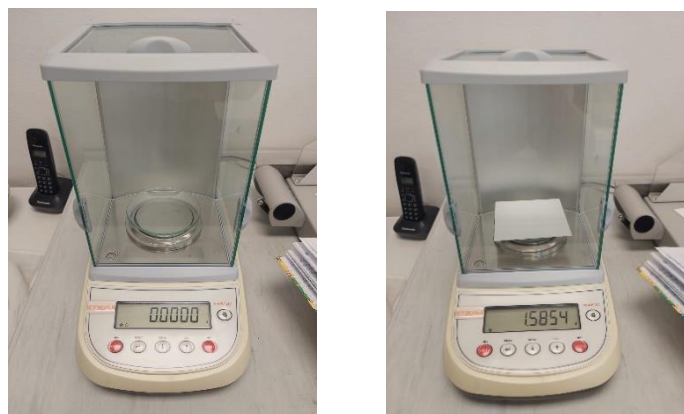
Sukladno formuli, za izračunavanje gramature uzorka potrebno je izračunati njegovu masu te površinu. Ispitivanje se provodi prema standardima ISO 536 i Tappi T 410. Površinu se izračunava po formuli  $a \cdot a$ . Masa uzorka određuje se gravimetrijski (vaganjem) na preciznoj vagi koja prikazuje rezultate s točnošću od  $\pm 0,2\%$ . Prije su se koristile kvadratne vage, za koje je bilo potrebno izrezati uzorke na dimenziju 10 x 10 cm. Kvadratne vage manje su precizni uređaji s kojih se prilikom mjerenja direktno može očitati gramatura na skali koja se nalazi na vagi.



*Slike 3. Kvadratna vaga*

Izvor: Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); *Opća svojstva papira*

Precizne analitičke vage zamijenile su kvadrantne vage, te se i u ovom ispitivanju vaganje uzoraka izvodilo na analitičkoj vagi. Kako je već ranije navedeno, papir se izrezuje se na 10 uzoraka dimenzija 10 x 10 cm u standardnim laboratorijskim uvjetima koji podrazumijevaju određenu temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Vaganim uzorcima određuje se masa koja se izražava u gramima. Nakon mjerenja mase svih 10 uzoraka određuje se aritmetička sredina te se to uvrštava u formulu za izračunavanje gramature papira. [8]



*Slike 4. Analitička vaga*

Izvor: Vlastiti izvor

### 3.2.2. Mjerenje debljine papira

Debljina papira definira se kao udaljenost između dvije paralelne strane ispitivanog uzorka. Mjerenje debljine papira, kartona i ljepenke provodi se iz više razloga. Mjerenjem se može kontrolirati ujednačenost proizvodnje listova na papir stroju te služi za izračunavanje prostorne mase papira. Uvelike utječe na krutost savijanja te na prolazak papira kroz tiskarski stroj i na ostale faze u tisku i doradi. Kao fizičko svojstvo debljina papira također ima utjecaj na dobivanje ujednačenog otiska. U proizvodnji papira dopuštaju se vrlo mala odstupanja u debljini papira jer bi suprotnom izrazita odstupanja dovela do velikih grešaka. Vrijednosti debljine u rasponu su od 0,006 mm za kondenzatorske i cigaretna papre pa do nekoliko milimetara za kartone i ljepenke. Ispitivanje debljine papira provodi se na uređaju pod nazivom mikrometar tako da se papir ulaže između dviju paralelnih metalnih mjernih ploha. Dobiveni rezultati izražavaju se u milimetrima s preciznošću od 0,001 mm.

Mjerenje se provodi prema standardu Tappi T 411 ili ISO 534:2011. Površine između kojih se provodi mjerenje debljine papira moraju biti glatke, paralelne te određene veličine i moraju pritiskati jedna drugu pod stalnim opterećenjem od  $1 \pm 0,10 \text{ kp/cm}^2$ . Kako je već ranije navedeno, uzroci se klimatiziraju na standardno propisane uvjete za temperaturu i relativnu vlažnost, a površine ispitivanih uzoraka moraju biti čiste da ne bi došlo do pogrešaka u mjerenju debljine. Da bi se dobila prosječna debljina ispitivanje se mora izvršiti na najmanje 20 uzoraka. Prema standardu razlikujemo dva tipa mjerenja, a to su: mjerenje na pojedinačnim listovima koje vršimo na uzorke debljine od 0,04 mm i mjerenje na snopu listova za uzorke debljine manje od 0,04 mm (snop listova obično podrazumijeva 5 listova). Kada se mjeri debljina, sve uzorke je potrebno mjeriti na istoj strani lista, odnosno na pustenoj ili sitovoj strani lista. Kod mjerenja pojedinačnih listova, epruvete moraju biti dimenzija 60 x 60 mm (ili veće) te se mjerno mjesto mora nalaziti na udaljenosti od najmanje 20 mm od ruba. Kada se radi o mjerenju u snopu, tada je najmanja dimenzija epruvete 200 x 250 mm s udaljenošću od 40 mm od ruba. Na uređaju mikrometar, mjerenje se provede 20 puta te se debljina ispitivanog uzorka dobije kao aritmetička sredina pojedinih mjerenja i izražava se u milimetrima ili mikrometrima. U slučaju kada debljinu mjerimo na snopu listova izračuna se aritmetička sredina pojedinih mjerenja te se dobiveni broj podjeli s brojem listova u snopu. [8]

Tehničke značajke mikrometara koji se nalazi u laboratoriju na fakultetu na koje se provodilo ispitivanje debljine papira za ovaj eksperimentalni dio rada su sljedeće: mjerni raspon: 0 – 10 mm te rezolucija: 0,001 mm. [9]



*Slike 5. Mikrometar- uređaj za mjerenje debljine papira*

Izvor: Vlastiti izvor

### 3.2.3. Određivanje prostorne mase

Prostorna masa ili gustoća papira, kartona ili ljepenke je masa jednog kubičnog centimetra ispitivanog uzorka. Određuje se iz omjera gramature i debljine papira, a izražava se u  $g/cm^3$ . [8]

Prostorna masa mjeri se prema sljedećoj formuli:

$$y = \frac{x}{d \cdot 1000}$$

(11)

y- prostorna masa ( $g/cm^3$ )

x- gramatura ( $g/m^2$ )

d- debljina (mm)

Prema formuli, za izračunavanje prostorne mase potrebno je poznavati prethodno izračunatu gramaturu i debljinu papira. Prostorna masa za papire je u širokim granicama te se kreće u rasponu od 0,30  $g/cm^3$  kod vrlo upojnih papira pod nazivom bugačica, pa do 1,35  $g/cm^3$  kod pergamin papira. Ovaj strukturalni parametar papira je vrlo bitan te na njega utječe količina i sadržaj različitih dodataka u proizvodnji papira kao što su

punila, keljiva i bojila te vrsta vlakana i mehanička obrada papirne mase (mljevenje i sušenje). Naknadna obrada papira (satiniranje) također utječe na prostornu masu papira. Ovo svojstvo nam pokazuje relativnu količinu zraka u uzorku papira koja utječe na optička i mehanička svojstva kao što su struktura papira, prozirnost i kompaktnost. Uz to prostorna masa ima značajan utjecaj na fizikalna svojstva papira. Međutim, u praksi se prostorna masa upotrebljava rjeđe, umjesto nje se upotrebljava specifični volumen. [8]

#### 3.2.4. Određivanje specifičnog volumena

Specifični volumen je volumen što ga u prostoru zauzima jedan gram ispitivanog papira, kartona ili ljepenke. Određuje se kao omjer debljine i gramature papira, a izražava se u  $cm^3/g$ . [8]

Specifični volumen mjeri se prema formuli:

$$\frac{1}{y} = \frac{d}{x} \cdot 1000$$

( III )

$\frac{1}{y}$ - specifični volumen ( $cm^3/g$ )

d- debljina papira (mm)

x- gramatura ( $g/m^2$ )

Za izračunavanje specifičnog volumena potrebno je prethodno izračunati gramaturu i debljinu papira. Papiri imaju jednostruki, jedan i pol struki ili dvostruki volumen, što se odnosi na prostornu masu od  $1 g/cm^3$ , odnosno za dvostruki volumen na  $0.50 g/cm^3$ . [11]

#### 3.2.5. Mjerenje bjeline papira

Bjelina papira pripada optičkim svojstvima papira. To su svojstva koja određuju kako papir reagira na svjetlosne zrake odnosno apsorbira li ih, propušta ili reflektira. Bjelina papira, kao i ostala optička svojstva, ispituje se spektrofotometrom te se uvijek mjeri u snopu papira (najmanje pet listova papira).

Kod izrade papira koji imaju visok stupanj bjeline potrebno je koristiti kvalitetno bijeljeno vlakno, punila sa što većim stupnjem bjeline, plavila te optička bjelila. Kao idealno bijeli materijal dogovorno je određen magnezijev oksid (MgO) čiji je stupanj bjeline 100%, a

postotak kojim se bilo koji drugi materijal bjelinom približava magnezijevom oksidu nazivamo stupnjem bjeline. Bjelina papira podrazumijeva stupanj difuzne refleksije svjetlosti svih valnih duljina s površine uzorka kroz cijeli spektar vidljive svjetlosti. Za određivanje bjeline papira (ISO *Whiteness*) također postoji propisan standard, a to je ISO 11475:1999 - određivanje CIE bjeline, D65/10° (na vanjskom danjem svjetlu). Rezultati se izražavaju u postocima te se određuju mjerenjem refleksije svjetlost s površine ispitivanog uzorka papira u cijelom vidljivom dijelu spektra. Da bi se uzorak koji se ispituje osvijetlio koristi se iluminant D65, koji je u funkciji vanjskog dnevnog svjetla, a također u sebi sadrži i UV komponentu svjetlosti. [10]

Ispitivanje se provodilo s uređajem pod nazivom X- Rite – eXact koji služi za spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja. Neke od tehničkih značajki ovog uređaja su raspon valnih duljina od 400 do 700 nm, raspon mjerenja od 0 do 200%, brzina mjerenja od dvije sekunde te optička razlučivost od 10 nm. [9] Ispitivanje se provodi na 10 uzoraka te se mora ispitati puzena i sitova strana papira, odnosno A i B strana. Za obje strane dobije se po 10 vrijednosti te izračunom aritmetičke sredine dobijemo podatak o bjelini papira koji se razlikuje za A i B stranu papira.



*Slike 6. Spektrofotometar*

Izvor: Katalog opreme. Zagreb: Grafički fakultet, URL: [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), (pristupljeno: 20.5.2023.)

### 3.2.6. Mjerenje udjela žutih tonova u papiru (*yellowness*)

Udio žutih tonova u papiri odnosno žutost definira se kao mjera pomaka boje površine sa željene bijele (ili bezbojne) prema žutoj boji. Žutost je važan parametar koji može utjecati na kvalitetu ispisa, te papiri s visokim udjelom žutog tona mogu rezultirati manjom preciznošću ispisa boja i slika tijekom ispisa. Žutost je razvijena posebno za određivanje žutosti homogenih, nefluorescentnih, gotovo bezbojnih, prozirnih, gotovo bijelih prozirnih ili neprozirnih plastika, no može se primjenjivati na druge materijale koji nisu plastika. Papir za tiskanje prolazi kroz proces izbjeljivanja tijekom proizvodnje. Međutim, ako se promatra iz druge perspektive, posebno za manju proizvodnju, postupak izbjeljivanja papira mogao bi se obavljati drugačije, u smislu premazivanja papira bijelim pigmentima. Titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) je najvažniji bijeli pigment koji se trenutno koristi. Zamijenio je gotovo sve druge bijele pigmente, jer ima iznimne otporne osobine, kao vrlo postojan materijal na svjetlost i toplinu. [15] Mjerenje žutosti papira obično se vrši pomoću spektrofotometra ili drugih uređaja koji mogu kvantitativno ocijeniti razinu žutosti. Vrijednosti žutosti mogu varirati ovisno o različitim faktorima, uključujući sastav papira, korištene boje i nijanse, proces izrade papira i postupke izbjeljivanja. Visoka žutost papira može se pokazati na prisutnost neželjenih spojeva ili nečistoća, kao i na slabu kvalitetu izbjeljivanja ili starenja papira. Žutost također može biti posljedica kemijskih reakcija koje se javljaju tijekom vremena ili izlaganja papira u određenim uvjetima, sunčevoj svjetlosti ili oksidaciji.

### 3.2.7. Mjerenje svjetline papira

Svjetlina papira (*ISO Brightness*) također se mjeri spektrofotometrom kao i ostala optička svojstva. Svjetlina se mjeri prema standardu ISO 2470:1999 – mjerenje faktora refleksije difuznog plavog svjetla. ISO svjetlina papira, kartona i pulpe je omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla ( $\lambda=457$  nm) s površine neprozirnog uzorka papira (list papira u snopu) prema stupnju refleksije idealnog reflektirajućeg tijela. Za izračunavanje svjetline UV komponenta svjetlosti može biti uključena ili isključena. Mjerenje svjetline služi kao kontrola procesa bijeljenja neke papirne mase u procesu proizvodnje. Različiti papiri mogu imati sličnu svjetlinu, ali se razlikuju po bjelini što se dokazalo u rezultatima ovog istraživanja i mjerenja svjetline različitih tiskovnih papira. Mjerenje svjetline papira provodilo se na uređaju X- Rite – eXact, te se također provodilo po 10 mjerenja za A i B



stranu. Izračunom aritmetičke sredine dobio se podatak za svjetlinu svake strane ispitivanih uzoraka. [10]

### 3.2.8. Mjerenje opaciteta papira

Opacitet ili neprozirnost papira definiramo kao mjeru za nepropusnost svjetla te izražavamo u postotcima. Definicija opaciteta opisuje opacitet kao odnos stupnja refleksije pojedinog lista papira iznad jedne crne podloge ( $< 0.5\%$  refleksije) prema stupnju refleksije istog lista u snopu (iznad tolikog snopa istovrsnog papira da kroz njega ne može proći svjetlo). Razna svojstva papira mogu utjecati na opacitet papira, kao što su debljina papira, vrsta vlakanaca od kojih je papir izgrađen, stupanj bjeline te prisutnost bojila, premaza ili punila. Za opacitet također postoji propisan standard prema kojem se određuje, a to je ISO 2471:1998 - Određivanje neprozirnosti – Metoda difuzne refleksije. Ovo optičko svojstvo, kao i ostala, definira njegova namjena. Paus i pergamin papir moraju biti prozirni, dok na primjer papiri za tisak i izradu kuverti moraju zadovoljavati visok postotak opaciteta, odnosno neprozirnosti. Mjerenje opaciteta papira provodio se na uređaju X – Rite –eXact, te je mjerenje potrebno ponoviti 10 puta na različitim uzorcima od svake vrste papira koja se koristi u istraživanju. Krajnji podatak koliki je opacitet pojedine vrste uzorka dobije se izračunom aritmetičke sredine, te se izražava u postotcima. [10]

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Masa i gramatura papira

Mjerenje mase uzorka potrebno je za izračun gramature papira. Mjerenje se odrađuje gravimetrijski odnosno vaganjem na analitičkoj vagi. Izvagano je po 10 uzoraka od svake vrste papira koja se ispituje. Tablicama su prikazani svi rezultati mjerenja mase te njihova srednja vrijednost. Masa se izražava u gramima.

**Tablica 1. Rezultati za masu SW uzoraka**

SW – masa (g)									
1,5691	1,5593	1,5601	1,5717	1,5691	1,5613	1,5854	1,5668	1,5607	1,5674
Srednja vrijednost mase= 1,56709 g									

**Tablica 2. Rezultati za masu FA uzoraka**

FA – masa (g)									
2,3282	2,3064	2,3327	2,3274	2,3233	2,3322	2,3194	2,3161	2,3193	2,3274
Srednja vrijednost mase= 2,32324 g									

**Tablica 3. Rezultati za masu VOL uzoraka**

VOL – masa (g)									
2,9425	2,9520	2,9533	2,9255	2,9405	2,9024	2,8925	2,9164	2,9068	2,9437
Srednja vrijednost mase= 2,92756 g									

**Tablica 4. Rezultati za masu UPM uzoraka**

UPM – masa (g)									
0,8825	0,8803	0,8979	0,8944	0,9140	0,9127	0,8926	0,9030	0,9049	0,8988
Srednja vrijednost mase= 0,89811 g									

Usporedbom rezultata prikazanih u tablicama 1, 2, 3, i 4 zaključeno je koji papir ima najmanju masu, a to je UPM uredski papir. Iz rezultata također je vidljivo kako voluminozni papir ima najveću masu, dok su Fedrigoni akvarel i Splendorgel extra white nešto manje mase. Ovi podaci služit će za izračun gramature.

Formula za gramaturu:

$$g = \frac{m}{A} \cdot 10000$$

(IV)

g- gramatura ( $g/m^2$ )

m- masa papira (g)

A- površina papira ( $cm^2$ )

**Tablica 5. Gramatura svih ispitivanih vrsta papira**

Gramatura – ( $g/m^2$ )			
SW	FA	VOL	UPM
156,709	232,324	292,756	89,811

Gramaturu ispitivanih uzoraka izračunata je već spomenutom formulom, za koju je potrebna masa i površina uzorka. Svi napisani rezultati izraženi su mjernom jedinicom za

gramaturu,  $g/m^2$ . Iz rezultata prikazanih u tablici 5, zaključeno je da UPM uredski papir ima najmanju gramaturu, što je bilo i očekivano s obzirom na to da ima najmanju masu. Voluminozni papir ima najveću gramaturu. Gramatura će biti potrebna u određivanju prostorne mase i specifičnog volumena papira.

#### 4.2. Debljina papira

Mjerenje debljine papira provedeno je na uređaju pod nazivom mikrometar. U sljedećim tablicama prikazani su dobiveni rezultati za svaku vrstu papira, mjerenje se provodi 20 puta te se izračuna aritmetička sredina. Svi rezultati prikazani u tablici izraženi su u milimetrima.

**Tablica 6. Rezultati za debljinu SW uzoraka**

SW – debljina (mm)									
0,165	0,165	0,169	0,170	0,167	0,165	0,170	0,167	0,167	0,164
0,170	0,166	0,165	0,166	0,168	0,166	0,163	0,166	0,166	0,164
Srednja vrijednost debljine= 0,16645 mm									

**Tablica 7. Rezultati za debljinu FA uzoraka**

FA – debljina (mm)									
0,339	0,352	0,347	0,355	0,336	0,345	0,336	0,342	0,341	0,343
0,353	0,357	0,344	0,331	0,340	0,352	0,352	0,345	0,353	0,341
Srednja vrijednost debljine= 0,34495 mm									

**Tablica 8. Rezultati za debljinu VOL uzoraka**

VOL – debljina (mm)									
0,358	0,359	0,360	0,369	0,366	0,374	0,360	0,359	0,364	0,360
0,355	0,360	0,357	0,360	0,358	0,366	0,364	0,353	0,364	0,361
Srednja vrijednost debljine= 0,36165 mm									

**Tablica 9. Rezultati za debljinu UPM uzoraka**

UPM – debljina (mm)									
0,109	0,111	0,110	0,111	0,109	0,109	0,113	0,111	0,112	0,108
0,109	0,108	0,112	0,110	0,109	0,106	0,106	0,107	0,111	0,110
Srednja vrijednost debljine= 0,10955 mm									

U tablicama 6, 7, 8, i 9 prikazani su dobiveni rezultati za debljinu papira. Izračunom debljine ustanovljeno je da UPM uredski papir ima najmanju debljinu, dok Voluminozni papir ima najveću debljinu. Debljina je potrebna za sljedeće dvije formule, a to su formule za prostornu masu i specifični volumen papira.

#### 4.3. Prostorna masa

Formula za prostornu masu:

$$y = \frac{x}{d \cdot 1000}$$

(V)

y – prostorna masa ( $g/cm^3$ )

x- gramatura ( $g/m^2$ )

d- debljina (mm)

**Tablica 10. Prostorna masa svih ispitivanih vrsta papira**

<b>Prostorna masa (<math>g/cm^3</math>)</b>			
<b>SW</b>	<b>FA</b>	<b>VOL</b>	<b>UPM</b>
<b>0,941</b>	<b>0,674</b>	<b>0,810</b>	<b>0,820</b>

Prostorna masa predstavlja masu jednog kubičnog centimetra ispitanog uzorka. U tablici broj 10 su prikazani rezultati dobiveni formulom za svaku vrstu papira. Fedrigoni akvarel ima najmanju prostornu masu, zatim Voluminozni i UPM uredski papir, a Splendorgel extra white ima najveću. Svi rezultati u tablici izraženi su mjernom jedinicom  $g/cm^3$ .

#### 4.4. Specifični volumen

Formula za specifični volumen:

$$\frac{1}{y} = \frac{d}{x} \cdot 1000$$

(VI)

$\frac{1}{y}$ - specifični volumen ( $cm^3/g$ )

d- debljina (mm)

x- gramatura ( $g/m^2$ )

**Tablica 11. Specifični volumen svih ispitivanih vrsta papira**

Specifični volumen ( $cm^3/g$ )			
SW	FA	VOL	UPM
1,062	1,485	1,234	1,220

Specifični volumen označava volumen koji u prostoru zauzima jedan gram ispitivanog uzorka. Rezultati su dobiveni korištenjem formule za specifični volumen u kojoj je potrebno unijeti prethodno izračunatu gramaturu i debljinu papira. U tablici 11 su prikazani dobiveni rezultati za sve četiri vrste papir iz kojih se zaključuje da Splendorgel extra white ima najmanji specifični volumen, a Fedrigoni akvarel ima najveći. Mjerna jedinica kojom se prikazuju dobiveni rezultati je  $cm^3/g$ .

**Tablica 12. Opća svojstva ispitivanih vrsta papira**

	Gramatura ( $g/m^2$ )	Debljina (mm)	Prostorna masa ( )	Specifični volumen ( )
SW	156,709	0,16645	0,941	1,062
FA	232,324	0,34495	0,674	1,485
VOL	292,756	0,36165	0,810	1,234
UPM	89,811	0,10955	0,820	1,220

U tablici 12 prikazani su rezultati za četiri opća svojstva ispitivanih vrsta papira, a to su gramatura, debljina, prostorna masa i specifični volumen. Usporedbom rezultata za gramaturu zaključeno je da Voluminozni papir ima najveću gramaturu koja iznosi

292,756 g/m<sup>2</sup> te da UPM uredski papir ima najmanju gramaturu od 89,811 g/m<sup>2</sup>. Zatim je provedenim mjerenjima izračunato da je debljina najveća kod Voluminoznog papira (0,36165) te da je najmanja kod UPM uredskog papira i iznosi 0,10955 mm. Kad je riječ o prostornoj masi rezultati u tablici pokazuju najveću prostornu masu kod Splendorgel extra white papira, dok je najmanja kod Fedrigoni akvarel papira. Zadnje opće svojstvo je specifični volumen te izračunati podatci navode da je specifični volumen najveći kod Fedrigoni akvarel papira te najmanji kod Splendorgel extra white papira. Usporedbom gramature i debljine zaključuje se da su ova dva opća svojstva ispitivanih uzorka u proporcionalnom odnosu, odnosno da papiri najveće gramature (u ovom slučaju Voluminozni papir) imaju i najveću debljinu papira. Tako je i sa svim ostalim vrstama ispitivanog papira, te su po gramaturi i debljini poredani istim redom (od najveće od najmanje gramature/debljine) Voluminozni papir, Fedrigoni akvarel, Splendorgel extra white papira te UPM uredski papir. Ovim mjerenjem je zaključeno da će papiri veće gramature imati i veću debljinu papira i obrnuto. Prostorna masa i specifični volumen su međusobno u obrnuto proporcionalnom odnosu. Oboje ovise o gramaturi i debljini što je vidljivo iz njihove formule, papiri najveće/najmanje gramature ili debljine nemaju najveću/najmanju prostornu masu ili specifični volumen. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da na primjer Splendorgel extra white papir koji je "treći po redu" po gramaturi i debljini ima najveću prostornu masu te najmanji specifični volumen. Zaključeno je da su gramatura i debljina u proporcionalnom odnosu, dok su prostorna masa i specifični volumen (koji ovise o gramaturi i debljini) u obrnuto proporcionalnom odnosu.

#### 4.5. Bjelina papira

Od optičkih svojstva papira najprije se provodilo ispitivanje bjeline papira. Bjelina papira se može definirati kao stupanj difuzne refleksije svjetlosti svih valnih duljina s površine uzorka kroz cijeli spektar vidljive svjetlosti. Pri ispitivanju potrebno je mjeriti bjelinu za pustenu i sitovu, odnosno A i B stranu. Mjerenje se provodilo 10 puta i zatim je određena srednja vrijednost za svaku stranu.

Tablica 13. Rezultati za bjelinu SW uzoraka

Bjelina – SW (%)									
A strana									
125,88	121,93	122,86	122,87	122,9	122,96	122,51	125,56	122,46	123,35
Srednja vrijednost = 123,328%									
B strana									
121,76	121,29	122,58	123,1	123,73	123,71	124,24	123,83	122,72	123,55
Srednja vrijednost = 123,051%									

Tablica 14. Rezultati za bjelinu FA uzoraka

Bjelina – FA (%)									
A strana									
82,35	82,26	80,82	81,35	82,15	81,86	81,02	81,67	81,27	81,05
Srednja vrijednost = 81,58%									
B strana									
80,57	80,16	79,33	80,22	80,33	79,82	80,36	80,01	83,69	82,66
Srednja vrijednost = 80,715%									

Tablica 15. Rezultati za bjelinu VOL uzoraka

Bjelina – VOL (%)									
A strana									
64,8	66,66	72,78	73,98	75,19	72,39	63,62	63,99	72,48	73,72
Srednja vrijednost = 69,961%									
B strana									
71,09	68,32	68,82	71,61	68,86	70,47	63,4	64,23	69,47	69,71
Srednja vrijednost = 68,598%									

Tablica 16. Rezultati za bjelinu UPM uzoraka

Bjelina – UPM (%)									
A strana									
124,09	124,92	125,17	124,72	124,34	124,43	125,15	125,86	124,54	124,74
Srednja vrijednost = 124,796%									
B strana									
125,28	124,97	124,2	124,64	124,34	125,14	124,4	124,3	124,91	125,29
Srednja vrijednost = 124,747%									

U prethodnim tablicama 13, 14, 15, i 16 prikazano je 10 izračuna za pustenu i sitovu (A i B) stranu papira. Iz rezultata vidljivo je da postoje razlike između te dvije strane, te dvostranost papira dolazi do izražaja. Gornja ili pustena strana ima glatku i jednoličnu površinu, dok donja sitova strana ima veću upojnost. Najmanju razliku u A i B strani

vidljiv je kod UPM uredskog papira te ona iznosi 0,049%. Minimalne razlike također su vidljive kod Splendorgel extra white papira gdje iznosi 0,277% i kod Fedrigoni akvarela 0,865%. Kod Voluminoznog papira pojavljuje se najveća dvostranost i najveća je razlika u A i B strani, a iznosi 1,363%.

**Tablica 17. Bjelina svih ispitivanih vrsta papira**

<b>Bjelina (svih uzoraka) (%)</b>			
	<b>A strana</b>	<b>B strana</b>	<b>Srednja vrijednost</b>
<b>SW</b>	<b>123,328</b>	<b>123,051</b>	<b>123,1895</b>
<b>FA</b>	<b>81,58</b>	<b>81,715</b>	<b>81,6475</b>
<b>VOL</b>	<b>69,961</b>	<b>68,598</b>	<b>69,2795</b>
<b>UPM</b>	<b>124,796</b>	<b>124,747</b>	<b>124,7715</b>

Razlika u bjelini papira, koji su se koristili u ispitivanju, jasno je vidljiva i golim okom, a izračunom i prikazom u tablici 17 to je i dokazano. Najveća razlika primjećuje se kod Voluminoznog i UPM uredskog papira. Također, Splendorgel extra white i UPM uredski papir imaju vrlo malu razliku u bjelini papira, a njihov stupanj bjeline prelazi 100% što upućuje na to da se za ove dvije vrste papira kao dodatak u proizvodnji dodaju optička bjelila.

#### 4.6. Svjetlina papira

Svjetlina papira je omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla s površine uzorka papira. Za svjetlinu sam ispitivala obje strane papira kao i za prethodna optička svojstva. Ispitivanje se provodilo na 10 uzoraka te je izračunom aritmetičke sredine dobiven podatak za svjetlinu A i B strane papira.

**Tablica 18. Rezultati za svjetlinu SW uzoraka**

<b>Svjetlina – SW (%)</b>									
<b>A strana</b>									
<b>100,66</b>	<b>99,41</b>	<b>99,87</b>	<b>99,86</b>	<b>100,04</b>	<b>99,79</b>	<b>99,72</b>	<b>100,56</b>	<b>99,56</b>	<b>99,99</b>
<b>Srednja vrijednost = 99,946</b>									
<b>B strana</b>									
<b>99,21</b>	<b>99,01</b>	<b>99,66</b>	<b>99,78</b>	<b>100,13</b>	<b>100,22</b>	<b>100,99</b>	<b>100,12</b>	<b>99,88</b>	<b>100,02</b>
<b>Srednja vrijednost = 99,832</b>									



Tablica 19. Rezultati za svjetlinu FA uzoraka

Svjetlina – FA (%)									
A strana									
90,4	90,36	90,09	90,18	90,89	90,64	90,44	90,43	90,34	90,3
Srednja vrijednost = 90,408									
B strana									
90,43	90,03	89,83	90,08	90,44	89,87	90,25	89,8	90,03	89,3
Srednja vrijednost = 90,006									

Tablica 20. Rezultati za svjetlinu VOL uzoraka

Svjetlina – VOL (%)									
A strana									
81,21	81,55	85,24	85,64	85,63	85,05	80,66	80,84	85,29	85,88
Srednja vrijednost = 83,699									
B strana									
83,97	82,94	83,1	84,11	82,91	83,55	81,35	80,44	83,34	83,39
Srednja vrijednost = 82,91									

Tablica 21. Rezultati za svjetlinu UPM uzoraka

Svjetlina – UPM (%)									
A strana									
98,08	98,16	99,11	99,01	98,38	98,41	98,77	98,99	98,36	98,59
Srednja vrijednost = 98,586									
B strana									
98,51	98,13	98,16	98,7	98,65	99,01	98,24	98,32	98,3	98,48
Srednja vrijednost = 98,45									

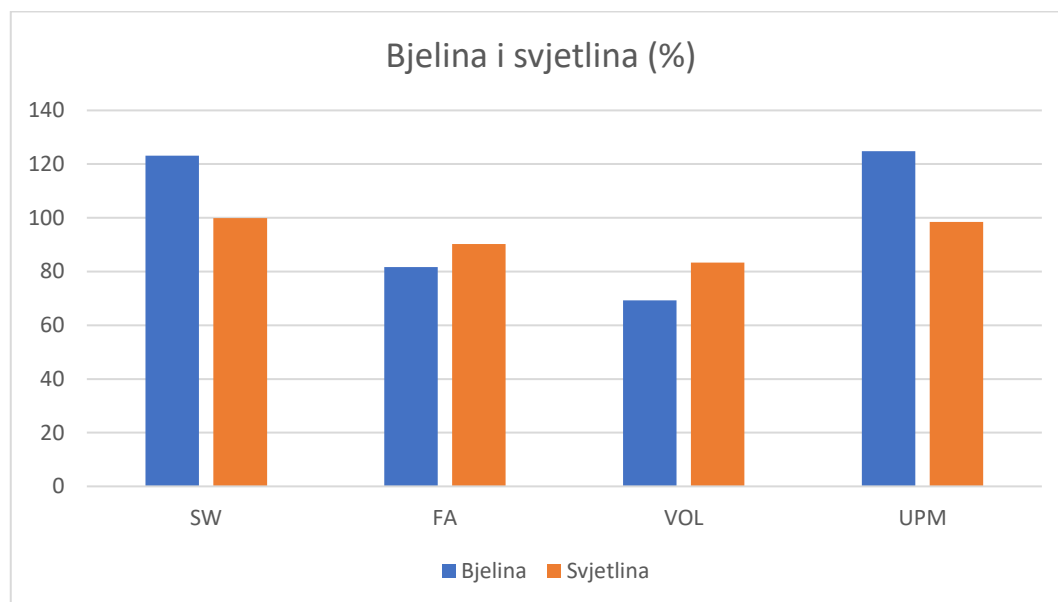
Rezultatima je kao i u prethodnim izračunima za bjelinu dokazana dvostranost papira. Razlika u pustenoj i sitovoj strani najmanja je kod Splendirgel extra white papira i iznosi 0,114%, a kod Voluminoznog papira je najveća te iznosi 0,789%. (Tablice 18, 19, 20 i 21)

Tablica 22. Svjetlina svih ispitivanih vrsta papira

Svjetlina (svih uzoraka) (%)			
	A strana	B strana	Srednja vrijednost
SW	99,946	99,832	99,889
FA	90,408	90,006	90,207
VOL	83,699	82,91	83,3045
UPM	98,586	98,45	98,518

Stupanj svjetline vrlo je sličan kod svih ispitivanih vrsta papira. Kao što je već ranije navedeno, papiri mogu imati sličnu svjetlinu, ali se razlikuju po bjelini što se ovim ispitivanjem dokazalo. Najniži stupanj svjetline uočavamo kod Voluminoznog papira, dok je najviši stupanj kod Splendirgel extra white papira. (Tablica 22)

**Dijagram 1. Bjelina i svjetlina ispitivanih vrsta papira**



Dijagram 1 prikazuje stupanj bjeline i stupanj svjetline svih ispitivanih uzoraka. Bjelina papira mjeri refleksiju svih valnih duljina u cijelom vidljivom dijelu spektra te se iz tog razloga bjelina smatra svojstvom koji je više u skladu s našom vizualnom percepcijom. Također zbog korištenja svih valnih duljina cijelog vidljivog spektra, papiri s visokim postotkom bjeline mogu izgledati kao da sadrže plavu nijansu te to ovisi o izvoru svjetlosti pod kojim se gleda. Dvije vrste papira koje su se ispitivale u eksperimentalnom radu posjeduju stupanj bjeline iznad 100% (to su Splendirgel extra white i UPM uredski papir) te se iz prethodnog objašnjenja može zaključiti da ove vrste papira mogu izgledati kao da sadrže plave nijanse pod nekim izvorima svjetla, no kao standardna rasvjeta za promatranje uzoraka koristi se D65 osvjetljenje koje predstavlja dnevno svjetlo. [16] Svjetlina papira koja za mjerenje koristi plavo svjetlo koje ima valnu duljinu od 457 nanometara u usporedbi s bjelinom mjeri sposobnost papira da reflektira svjetlost, dok se bjelina papira odnosi na kvalitetu svjetlosti odnosno mjeri nijansu papira. Pojam svjetlina papira odnosi se na količinu reflektiranog svjetla te što je taj postotak veći (na ljestvici o 0-100%) to je papir “svjetliji” odnosno veća je refleksija plave svjetlosti. Papiri s jednakim ili približno jednakim stupnjem bjeline u pravilu mogu imati posve drugačiji stupanj svjetline. Također papiri s jednakim stupnjem svjetline mogu se vizualno doimati potpuno drugačije te se tada radi o različitim bjelinama. [17] U pravilu svojstva bjeline i

svjetlina ne mogu se uspoređivati na osnovi nekih zajedničkih karakteristika te nisu ni u proporcionalnom ni obrnuto proporcionalnom odnosu odnosno ovise o sastavu i vrsti papira te se mogu razlikovati neovisno o drugim optičkim svojstvima. Vidljivo je kako Splendiregel extra white papir i UPM uredski papir imaju vrlo male razlike u bjelini odnosno razlika u njihovoj bjelini iznosi 1,58% te je razlika u svjetlini između te dvije vrste papira također vrlo mala i iznosi 1,4%. U pravilu postojala je mogućnost da ovi papiri s vrlo sličnim stupnjem bjeline posjeduju veće razlike u svjetlini, no to kod ovih papira nije slučaj. Veća vidljiva razlika je kod Fedrigoni akvarela i Voluminoznog papira gdje se po bjelini razlikuju za 12,37%, a u svjetlini je razlika od 6,9%. Iz ova dva uzorka vidljivo je da manja razlika u svjetlini ne mora značiti i manja razlika u bjelini odnosno da iako papiri imaju približno jednaku svjetlinu vizualno izgledaju drugačije zbog bjeline.

#### 4.7. Udio žutih tonova (yellowness)

Udio žutih tonova ili žutost optičko je svojstvo papira koje se odnosi na to koliko je boja površine pomaknuta od željene bijele (ili bezbojne) prema žutoj. Ovo svojstvo znatno može utjecati na kvalitetu ispisa. Pri ispitivanju potrebno je mjeriti zasebno pustenu i sitovu, odnosno A i B stranu za sve vrste ispitivanih papira. Mjerenje se provodilo 10 puta (za svaku stranu) i zatim je određena srednja vrijednost za svaku stranu.

**Tablica 23. Rezultati za yellowness SW uzoraka**

Yellowness – SW (%)									
A strana									
-14,54	-12,9	-13,2	-13,25	-13,18	-13,27	-13,1	-14,38	-13,14	-13,44
Srednja vrijednost = -13,44									
B strana									
-12,82	-12,68	-13,12	-13,32	-13,53	-13,48	-13,78	-13,57	-13,07	-13,51
Srednja vrijednost = -13,288									

**Tablica 24. Rezultati za yellowness FA uzoraka**

Yellowness – FA (%)									
A strana									
4,9	4,92	5,48	5,24	5,22	5,22	5,24	5,42	5,46	5,49
Srednja vrijednost = 5,259									
B strana									
5,84	5,8	6,18	5,82	5,95	5,89	5,81	5,74	3,56	3,73
Srednja vrijednost = 5,432									

**Tablica 25. Rezultati za yellowness VOL uzoraka**

Yellowness – VOL (%)									
A strana									
9,44	8,7	6,88	6,54	5,7	6,98	9,76	9,68	7,15	6,72
Srednja vrijednost = 7,755									
B strana									
7,4	8,32	8,13	7,16	8,05	7,5	9,97	9,07	7,88	7,84
Srednja vrijednost = 8,132									

**Tablica 26. Rezultati za yellowness UPM uzoraka**

Yellowness – UPM (%)									
A strana									
-15,52	-15,95	-15,74	-15,54	-15,57	-15,61	-15,87	-16,16	-15,72	-15,68
Srednja vrijednost = -15,736									
B strana									
-15,98	-16,01	-15,59	-15,7	-15,55	-15,74	-15,69	-15,57	-15,91	-16,02
Srednja vrijednost = -15,776									

U ovom mjerenju ispitivao se stupanj žutog tona u papiru (yellowness). Bilo je potrebno izračunati stupanj žutog tona posebno za obje strane, te je vidljivo da postoji razlika u pustenoj i sitovoj strani. Splendirgel extra white i UPM uredski papir imaju vrlo visok stupanj bjeline, te je njihov udio žutih tonova u papiru vrlo nizak pa su iz tog razloga dobiveni rezultati negativni brojevi. Najmanju razliku između A i B strane postoji kod UPM uredskog papira gdje ona iznosi 0,04%, dok je najveća razlika kod Voluminoznog papira i iznosi 0,377%. Rezultati su prikazani u tablicama 23, 24, 25 i 26.

**Tablica 27. Yellowness svih ispitivanih vrsta papira**

Yellowness (svih uzoraka) (%)			
	A strana	B strana	Srednja vrijednost
SW	-13,44	-13,288	-13,364
FA	5,259	5,432	5,3455
VOL	7,755	8,132	7,9435
UPM	-15,736	-15,776	-15,756

Tablica 27 prikazuje razlike o udjelu žutih tonova u ove četiri vrste papira. Papiri koji imaju visok stupanj bjeline u sebi sadrže jako nizak udio žutih tonova. Voluminozni papir ima najniži stupanj bjeline od ispitivanih papira te je vidljivo kako je stupanj žutog tona najveći.

#### 4.8. Opacitet papira

Mjerenjem opaciteta papira računamo nepropusnost svjetla odnosno stupanj refleksije pojedinog lista papira iznad crne podloge prema stupnju refleksije istog lista u snopu. Mjerenjem opaciteta odnosno neprozirnosti provodi se tako da se računaju dvije vrijednosti – jedna kad se papir nalazi iznad crne podloge, a druga kad se nalazi iznad bijele podloge, a uređaj prikaže vrijednost opaciteta. Mjerenje se provodi na 10 različitih uzoraka te se izračunom srednje vrijednost dobije opacitet za ispitanu vrstu papira.

**Tablica 28. Rezultati za opacitet SW uzoraka**

Opacitet – SW (%)									
97,8	98,1	98	97,4	97,7	98,2	98,2	98,5	98,1	98
Srednja vrijednost = 98									

**Tablica 29. Rezultati za opacitet FA uzoraka**

Opacitet – FA (%)									
98,7	98,8	99,1	99,3	98,2	98,5	99	98,7	98,8	98,9
Srednja vrijednost = 98,8									

**Tablica 30. Rezultati za opacitet VOL uzoraka**

Opacitet – VOL (%)									
99,8	99,2	99,8	99,8	98,6	99,6	99,6	99,8	99	99,4
Srednja vrijednost = 99,46									

**Tablica 31. Rezultati za opacitet UPM uzoraka**

Opacitet – UPM (%)									
95,5	94,9	94,5	95,6	94,9	95,8	94,5	95,7	95,3	95,2
Srednja vrijednost = 95,19									

**Tablica 32. Opacitet svih ispitivanih vrsta papira**

Opacitet (svih uzoraka) (%)			
SW	FA	VOL	UPM
98	98,8	99,46	95,19

Sve ispitane vrste papira imaju vrlo visok stupanj neprozirnosti kako je i prikazano rezultatima u tablicama 28, 29, 30 i 31. U tablici 32 je vidljivo kako Voluminozni papir ima najveći opacitet, a UPM uredski papir ima najmanji.

**Tablica 33. Optička svojstva ispitivanih vrsta papira**

	<b>Bjelina (%)</b>	<b>Svjetlina (%)</b>	<b>Yellowness (%)</b>	<b>Opacitet (%)</b>
<b>SW</b>	<b>123,1895</b>	<b>99,889</b>	<b>-13,364</b>	<b>98</b>
<b>FA</b>	<b>81,6475</b>	<b>90,207</b>	<b>5,3455</b>	<b>98,8</b>
<b>VOL</b>	<b>69,2795</b>	<b>83,3045</b>	<b>7,9435</b>	<b>99,46</b>
<b>UPM</b>	<b>124,7715</b>	<b>98,518</b>	<b>-15,756</b>	<b>95,19</b>

U tablici 33 prikazani su svi dobiveni rezultati optičkih svojstava ispitanih vrsta papira. Ispitivanjem bjeline papira ustanovljeno je da UPM uredski papir ima najveću bjelinu i ona iznosi 124,7715%, bjelina ove vrste papira je iznad 100% što upućuje na to da se u proizvodnji UPM uredskih papira koriste optička bjelila za dodano izbjeljivanje papira. Ista situacija je i kod Splendirgel extra white papira čija bjelina iznosi 123,1895%. Najmanji postotak bjeline je vidljiv kod Voluminoznog papira. Usporedbom bjeline i udjela žutih tonova u papiru vidljivo je da papiri s najvećim postotkom bjeline imaju najmanji postotak žutosti i obrnuto. Za UPM uredski papir i Splendirgel extra white papir postotak žutosti je negativan broj što upućuje na to da su papiri iznimno bijeli i da je udio žutog tona kod njih vrlo mali odnosno da ne postoji. Voluminozni papir čiji je postotak bjeline najmanji ima najveći postotak žutosti. Postotak svjetline visok je kod papira s visokim postotkom bjeline, te je nešto niži kod onih koji imaju niži postotak bjeline i veći udio žutog tona, pa je iz tog razloga vidljivo da Voluminozni papir ima najmanji postotak svjetline. Kad je riječ o optičkom svojstvu opacitet kod svih ispitanih vrsta papira je on poprilično visok odnosno iznosi gotovo maksimalni postotak od 100%. Najmanji postotak opaciteta je vidljiv kod UPM uredskog papira i iznosi 95,19%, te je najveći kod Voluminoznog papira čiji je postotak bjeline i svjetline najniži. Za kraj je zaključeno da papiri visokog postotka bjeline imaju i visok postotak svjetline što u pravilu ne mora uvijek biti tako jer papiri s približno jednakim stupnjem bjeline mogu imati potpuno različit stupanj svjetline i obrnuto, te da udio žutog tona raste sa smanjenjem postotka bjeline i svjetline.

## 5. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog rada je istražiti i pobliže objasniti opća i optička svojstva tiskovnih papira. Provedena su samostalna mjerenja i analiza dobivenih rezultata kojima se može ustanoviti kvaliteta i namjena tiskovnog papira. Glavni zaključak koji proizlazi iz rada je da sve četiri vrste odabranih tiskovnih papira imaju različita svojstva te da se iz tog razloga koriste u različite svrhe. Najznačajniji je podatak da masa i debljina papira znatno utječu na opća svojstva, a veća gramatura papira upućuje na veću debljinu i obratno. Također je ustanovljeno kako je prostorna masa u obrnuto proporcionalnom odnosu sa specifičnim volumenom, a ta dva opća svojstva u potpunosti ovise o gramaturi i debljini papira. Mjerenjem te analizom dobivenih rezultata za optička svojstva papira koji uključuju bjelinu, svjetlinu, opacitet i udio žutog tona zaključeno je kako povećani postotak bjeline (posebice ako je on iznad 100%) upućuje na dodatak optičkih bjelila u proizvodnji papira. Udio žutog tona ovisi o bjelini papira, odnosno što je bjelina veća udio žutog tona je manji. Svjetlina i bjelina u ovom su eksperimentalnom istraživanju u proporcionalnom odnosu - s porastom bjeline porastao je i stupanj svjetline, no to nije uvijek slučaj jer papiri iste bjeline mogu imati potpuno različiti stupanj svjetline. Razlike u bjelini i svjetlini događaju se zbog različitog načina mjerenja tih dvaju svojstava. Bjelina se mjeri u cijelom vidljivom dijelu spektra dok se svjetlina mjeri samo u području od 457 nanometara. Opacitet je kod svih ispitanih vrsta papira bio vrlo visok pa iz toga proizlazi da su ti papiri vrlo dobri za obostrani otisak, izradu kuverti i slično. Kao važna pojava kod papira navodi se dvostranost papira. Dvostranost upućuje na to da papir posjeduje dvije različite strane, pustenu i sitovu stranu, pojedina svojstva različita su na različitim stranama. Sva provedena mjerenja propisana su standardima te omogućuju najpreciznije određivanje općih i optičkih svojstava. Rezultati ovog istraživanja mogu poslužiti kao smjernice za odabir kvalitetnog papira u tiskarskoj industriji, doprinoseći poboljšanju kvalitete tiskovnih proizvoda i zadovoljstva korisnika.

## 6. LITERATURA

- [1] Bešlić, A., Dragojević, A. (2021) *Ručno rađeni papir: povijest, izrada, svojstva i vodeni znakovi*. Arhivski vjesnik, god. 64, BR.1, 2021, str. 88 – 92
- [2] Avilov, H. (2004) *Optička svojstva različitih tiskovnih podloga*. Diplomski rad. Zagreb: Grafički fakultet
- [3] Hrvatska enciklopedija. *Papir*. URL:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=46541> (pristupljeno: 26. 5. 2023.)
- [4] Buljan, B. (2018) *Promjena čvrstoće lijepljenog spoja povećanjem pritiskute sile*. Završni rad. Zagreb: Grafički fakultet.
- [5] Paleontologija. *Papir*. Str. 142. URL:  
<https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/papir.pdfv> (pristupljeno 17.6.2023.)
- [6] B&B PRESS. *The Ultimate Guide to the Different Types of Paper for Printing*. URL: <https://www.bbpress.co.uk/news/the-ultimate-guide-to-the-different-types-of-paper-for-printing> (pristupljeno: 28.5.2023.)
- [7] Britannica. *Paper properties and uses*. URL:  
<https://www.britannica.com/technology/papermaking/Paper-properties-and-uses>  
(pristupljeno: 28.5.2023.)
- [8] Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); *Opća svojstva papira*.
- [9] Katalog opreme. Zagreb: Grafički fakultet, URL: [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), (pristupljeno: 20.5.2023.)
- [10] Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); *Optička svojstva papira*
- [11] Kašaj, P. (2020) *Utjecaj koncentracije optičkog bjelila na bjelinu i UV zaštitu poliesterskih tkanina*. Završni rad. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet
- [12] Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); *Dvosmjernost i dvostranost papira*



[13] Fedrigoni. *Splendorgel*. URL: <https://paper.fedrigoni.com/swatchbook/splendorgel/> (pristupljeno 17.6.2023.)

[14] UPM specialty papers. *Graphic and office papers*. URL: <https://www.upmspecialtypapers.com/products/paper-catalogue/categories/graphic-and-office-papers/> (pristupljeno 18.6.2023.)

[15] Radić-Seleš, V. (2019) *Analysis of optical properties of laboratory papers made from straw pulp and coated with titanium dioxide white ink*. Znanstveni rad. Zagreb: Sveučilište u Zafrebu, Grafički fakultet.

[16] Woodland Paper. *The Difference Between Paper Brightness and Paper Whiteness*. URL: <https://www.woodlandpaper.com/2019/03/brightness-whiteness/> (pristupljeno:26.6.2023.)

[17] Colorwise. *Paper Brightness, Whiteness & Shade: Definitions and Differences*. URL: <https://colorwise.com/blog/paper-brightness-whiteness-shade-definitions-differences/> (pristupljeno 26.6.2023.)