

Karakteristike materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica

Ćurčić, Ivana

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:216:719356>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-04**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Ivana Ćurčić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko - tehnološki

ZAVRŠNI RAD

KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA IZRADU PAPIRNATIH AMBALAŽNIH VREĆICA

Mentor:

Doc. dr. sc. Maja Strižić Jakovljević

Student:

Ivana Ćurčić

Zagreb, 2023

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

Getaldićeva 2

Zagreb, 11. 9. 2023.

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

RJEŠENJE

kojim se studentu/ici Ivani Ćurčić, JMBAG 0128066395, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Karakteristike materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica, pod mentorstvom doc. dr. sc. Maje Strižić Jakovljević.

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

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



SAŽETAK

Materijali za izradu papirnatih ambalažnih vrećica moraju imati određena svojstva, koja najviše ovise o krajnjoj namjeni. S obzirom na to da se navedeni materijali mogu primjenjivati u širokom spektru, odabrane su dvije vrste materijala, koje se razlikuju u sastavu sirovina za njihovu proizvodnju. Odabranim materijalima odredit će se debljina, gramatura, prostorna masa i specifični volumen. Provest će se ispitivanje mehaničkih svojstava papira, utvrđivanjem otpornosti prema kidanju i određivanju broja dvostrukih savijanja. Također će se provesti mikroskopiranje i određivanje glatkosti prema Bekku. Cilj rada je temeljem rezultata navedenih ispitivanja odrediti moguću krajnju namjenu materijala korištenih za izradu papirnatih ambalažnih vrećica.

Ključne riječi: ambalažne vrećice, celulozna vlakanca, namjena, papir

ABSTRACT

Materials used for the production of paper packaging bags must possess specific properties that largely depend on their intended purpose. Given that, these materials can be applied in a wide range of applications, two types of materials with different raw material compositions for their production have been selected. The chosen materials will determine the thickness, grammage, bulk density, and specific volume. Mechanical properties of the paper will be examined by assessing tear resistance and determining the number of double folds. Additionally, microscopy and smoothness testing according to Bekk will be conducted. The aim of this study is to determine the possible final purpose of the materials used for the production of paper packaging bags based on the results of the mentioned tests.

Keywords: packaging bags, cellulose fibers, purpose, paper

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1.UVOD | 1 |
| 2.TEORIJSKI DIO..... | 2 |
| 2.1. PROIZVODNJA AMBALAŽNIH VREĆICA..... | 2 |
| 2.2. VRSTE I KARAKTERISTIKE VLAKANACA U AMBALAŽNIM VREĆICAMA..... | 2 |
| 2.3. PRIMJENA AMBALAŽNIH VREĆICA..... | 5 |
| 2.4. VRSTE AMBALAŽNIH VREĆICA..... | 6 |
| 2.5.ISPITIVANJE SVOJSTAVA PAPIRA ZA IZRADU AMBALAŽNIH VREĆICA..... | 7 |
| 2.5.1. GRAMATURA | 7 |
| 2.5.2. PROSTORNA MASA | 7 |
| 2.5.3. SPECIFIČNI VOLUMEN | 8 |
| 2.5.4. GLATKOST PO BEKKU..... | 8 |
| 2.5.5. MIKROSKOPIJA | 9 |
| 2.5.6. OTPORNOST NA KIDANJE..... | 9 |
| 2.5.7. DVOSTRUKO SAVIJANJE | 10 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO..... | 12 |
| 3.1. MATERIJALI..... | 12 |
| 3.2. METODE..... | 14 |
| 3.2.1. ODREĐIVANJE GRAMATURE PAPIRA..... | 14 |
| 3.2.2. MJERENJE DEBLJINE PAPIRA | 16 |
| 3.2.3. ODREĐIVANJE PROSTORNE MASE..... | 18 |
| 3.2.4. ODREĐIVANJE SPECIFIČNOG VOLUMENA | 19 |
| 3.2.6.MIKROSKOPIJA | 21 |
| 3.2.7.ODREĐIVANJE OTPORNOSTI NA KIDANJE..... | 22 |
| 3.2.8.ODERĐIVANJE BROJA DVOSTRUKIH SAVIJANJA | 25 |
| 4.REZULTATI I DISKUSIJA | 28 |
| 4.1. MASA I GRAMATURA PAPIRA | 28 |
| 4.2.DEBLJINA PAPIRA | 29 |
| 4.3.PROSTORNA MASA | 30 |
| 4.4.SPECIFIČNI VOLUMEN | 31 |
| 4.5.GLATKOST PO BEKKU..... | 32 |
| 4.6. MIKROSKOPIJA | 36 |
| 4.7.OTPORNOST NA KIDANJE..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 4.8. OTPORNOST NA DVOSTRUKO SAVIJANJE | 39 |
| 5.ZAKLJUČAK | 42 |
| 6.LITERATURA..... | 43 |

1.UVOD

Papirnate ambalažne vrećice su sveprisutne u suvremenom društvu i predstavljaju nezaobilazan dio naše svakodnevice. One se koriste za pakiranje različitih proizvoda, kao što su hrana, tekstil, kozmetika, lijekovi i mnogi drugi proizvodi potrebni za distribuciju i prodaju. Materijali korišteni za izradu ovih vrećica igraju ključnu ulogu u njihovoj funkcionalnosti, sigurnosti, trajnosti i ekološkoj prihvatljivosti.

Ovaj se rad usmjerava na važnost i svojstva materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica te na njihovu krajnju namjenu. Razumijevanje karakteristika materijala ključno je za osiguranje pravilnog odabira vrećica za različite proizvode i uvjete njihove primjene.

Materijali za izradu papirnatih ambalažnih vrećica moraju zadovoljiti određene zahtjeve kako bi se osigurala njihova funkcionalnost i zaštita proizvoda koji će biti pakirani u njih. Različiti proizvodi zahtijevaju različite vrste papira s posebnim karakteristikama, kao što su otpornost na kidanje, čvrstoću i glatkoću površine.

U ovom radu analiziramo tri različite vrste materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica, koje se razlikuju u sastavu sirovina za njihovu proizvodnju. Posebna pažnja bit će posvećena određivanju debljine, gramature, prostorne mase i specifičnog volumena odabranih materijala kako bismo bolje razumjeli njihove fizikalne karakteristike.

Također, bit će provedeno ispitivanje mehaničkih svojstava papira, kao što su otpornost prema kidanju i broj dvostrukih savijanja. Mikroskopiranjem i određivanjem glatкости prema Bekku, dobit ćemo uvid u strukturu i površinska svojstva materijala.

Krajnji cilj ovog istraživanja jest utvrditi moguću namjenu materijala korištenih za izradu papirnatih ambalažnih vrećica temeljem rezultata navedenih ispitivanja. To će pomoći industriji pakiranja da odabere najprikladnije materijale za različite vrste proizvoda, te pridonijeti boljoj zaštiti i očuvanju okoliša.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PROIZVODNJA AMBALAŽNIH VREĆICA

Proizvodnja papirnatih ambalažnih vrećica složen je proces koji uključuje različite faze, od izbora materijala do završne dorade.

Prvi korak u izradi ambalažnih vrećica je izbor materijala to jest odabir odgovarajućih materijala. To uključuje izbor tipa papira (npr. kraft papir, bijeli papir, reciklirani), debljinu, gramaturu i specifični volumen, ovisno o namjeni ambalaže. Nakon odabira materijala, ambalaža se može tiskati s grafičkim elementima, logotipima i informacijama o proizvodu. Ovaj korak dodaje estetsku vrijednost ambalaži i može biti važan za marketinške svrhe. Nakon tiskanja, listovi papira se režu i oblikuju prema željenom obliku ambalaže. Ovaj korak uključuje rezanje i savijanje papira kako bi se formirale vrećice. Vrećice se obično zatvaraju ljepljenjem ili savijanjem rubova. Ovaj korak osigurava da ambalaža ostane zatvorena tijekom rukovanja i transporta. Kontrola kvalitete je ključna tijekom cijelog procesa proizvodnje. To uključuje inspekciju tiska, rezanja, ljepljenja i zatvaranja kako bi se osigurala konzistentna kvaliteta ambalaže. Nakon što su svi koraci napravljeni ambalažne papirnate vrećice mogu ići naručitelju.

Proizvodnja papirnatih ambalažnih vrećica složen je proces koji uključuje mnoge korake i zahtijeva pažljivu koordinaciju i kontrolu kako bi se osigurala kvaliteta i funkcionalnost ambalaže. Razumijevanje ovih koraka i njihovih zahtjeva može biti od velike pomoći u proizvodnji visokokvalitetnih ambalažnih vrećica. [1]

2.2. VRSTE I KARAKTERISTIKE VLAKANACA U AMBALAŽNIM VREĆICAMA

Vrste vlaknaca u ambalažnim vrećicama

Vlknasti materijali, posebno papir i karton, često se koriste za proizvodnju ambalažnih vrećica zbog svoje prirode i prednosti. Razumijevanje vrsta vlaknaca korištenih u ambalažnim vrećicama ključno je za razumijevanje svojstava i performansi tih materijala. Neki od materijala koji se koriste su: drvo, pamuk, celuloza.

- Drvo - Drvena vlakna su osnovni sastojak papira i kartona. Drveni materijali poput breze, bure i eukaliptusa često se koriste za proizvodnju papira. Ovisno o vrsti drva, vlakna mogu varirati u dužini, debljini i čvrstoći.
- Pamuk - Pamuk je prirodni materijal koji se koristi za proizvodnju visokokvalitetnog papira i kartona. Pamučna vlakna su kratka i tanka, što rezultira glatkim i mekim papirima.
- Celuloza - Celuloza se dobiva iz biljaka i drva i koristi se kao osnovni sastojak za proizvodnju papira. To su izuzetno dugačka i tanka vlakna koja pružaju papiru visoku čvrstoću. [2]

Karakteristike vlakanaca u ambalažnim vrećicama

Dužina vlakana je važna za čvrstoću vlakanaca. Različite dužine vlakanaca u papiru ili kartonu mogu rezultirati različitim razinama čvrstoće. Duža vlakna obično pružaju veću čvrstoću ambalaže, što je važno za proizvode koji zahtijevaju stabilnost i zaštitu tijekom transporta i rukovanja. Dužina vlakana također može utjecati na propusnost ambalaže za plinove poput kisika i vlage. Ovo je ključno za očuvanje svježine i trajnosti prehrambenih proizvoda. Duža vlakna obično rezultiraju glatkom površinom papira ili kartona. To može biti važno za tisak i grafiku na ambalaži, ali također može utjecati na sigurnost hrane ako se ambalaža koristi za izravan kontakt s hranom. Različiti prehrambeni proizvodi mogu zahtijevati različite vrste ambalaže s određenim dužinama vlakanaca kako bi se osigurala najbolja zaštita i očuvanje kvalitete.

Debljina vlakana

Debljina vlakana u materijalima koji se koriste za proizvodnju ambalažnih vrećica ima ključan utjecaj na svojstva i performanse ambalaže, što je posebno važno u prehrambenoj industriji. Debljina vlakana se odnosi na debljinu sloja vlakana u materijalu, bilo da se radi o papiru, kartonu ili drugim materijalima.

Deblja vlakna obično pružaju veću čvrstoću i izdržljivost materijala. To je ključno za materijale koji će se koristiti za izradu ambalaže, jer moraju održavati vanjske sile, trenje i udarce tijekom rukovanja, transporta i skladištenja. Deblji materijali često imaju bolji barijerni učinak protiv plinova poput kisika i vlage. To je važno u kontekstu prehrambene industrije jer pomaže u očuvanju svježine proizvoda i produljenju njihova roka trajanja.

Deblji materijali pružaju glađu površinu za tisak informacija i logotipa na ambalaži. To je ključno za privlačenje pozornosti potrošača i komunikaciju brenda. Deblji materijali mogu zahtijevati više sirovina i energije za proizvodnju, što može imati ekološke posljedice. Stoga se pravilno upravljanje debljinom materijala također odnosi na ekološke aspekte i održivost.

Debljina vlakana ambalažnih vrećica u prehrambenoj industriji je važna zbog zaštite proizvoda, očuvanja svježine i sigurnosti hrane te ekološke održivosti.

Izdržljivost vlakana

Izdržljivost vlakana igra ključnu ulogu u performansama ambalažnih materijala, posebno u prehrambenoj industriji gdje je zaštita proizvoda od iznimne važnosti. Izdržljivost vlakana odnosi se na sposobnost vlakana da izdrže različite vanjske sile, uključujući savijanje, rastezanje i udarce.

Važnost izdržljivosti vlakana:

- **Otpornost na oštećenja:** Izdržljiva vlakna čine ambalažu otpornom na oštećenja tijekom rukovanja, transporta i skladištenja. To je ključno jer ambalaža često prolazi kroz različite faze lanca opskrbe gdje može biti izložena potencijalnim opasnostima.
- **Zaštita proizvoda:** Ambalažne vrećice u prehrambenoj industriji često sadrže osjetljive proizvode poput hrane ili farmaceutskih proizvoda. Izdržljivost vlakana osigurava da ambalaža očuva svoj integritet i zaštiti sadržaj od vanjskih utjecaja kao što su udarci, vibracije i tlak.
- **Sigurnost hrane:** Ako ambalaža sadrži hranu, otpornost vlakana također igra ključnu ulogu u očuvanju sigurnosti hrane. Oštećena ambalaža može dovesti do kontaminacije hrane ili gubitka njezine svježine.

Kompatibilnost s recikliranjem

Kompatibilnost s recikliranjem vlakana ključna je karakteristika ambalažnog materijala u ekološki osviještenim ambalažnim rješenjima, posebno u prehrambenoj industriji gdje se generira velika količina ambalažnog otpada. Ova karakteristika odnosi se na

sposobnost materijala da se učinkovito reciklira i ponovno upotrijebi u procesu proizvodnje bez gubitka kvalitete ili funkcionalnosti. [1]

2.3. PRIMJENA AMBALAŽNIH VREĆICA

Ambalažne vrećice imaju raznoliku primjenu u različitim sektorima, uključujući prehrambenu industriju, farmaciju, kozmetiku, maloprodaju i mnoge druge. Njihova raznolikost oblikovanja i materijala omogućuje širok spektar primjene.

U prehrambenoj industriji se koriste za pakiranje hrane. Ambalažne vrećice koriste se za pakiranje različitih vrsta hrane, uključujući suhe proizvode poput žitarica i tjestenina, smrznutu hranu, grickalice, voće i povrće, mesne proizvode itd.

U farmaceutskoj industriji se koriste za pakiranje lijekova. Ambalažne vrećice koriste se za pakiranje različitih farmaceutskih proizvoda, uključujući tablete, kapsule i praškaste lijekove. Ambalažne vrećice su popularan izbor za pakiranje šminke, parfema, krema za njegovu kožu i druge kozmetičke proizvode.

U maloprodaji, ambalažne vrećice se često koriste za pakiranje kupljenih proizvoda. Mogu biti prilagođene logotipima i porukama brenda. Danas sve više prodavnica koristi papirnate vrećice od recikliranih materijala. Ukrasne vrećice, koje su estetski privlačnije ambalažne vrećice, često se koriste kao darovne vrećice za poklone ili promotivne proizvode.

Pakiranje odjeće, obuće i modnih dodataka je sve više u ambalažne vrećice jer se mogu lako izrađivati u raznim veličinama i stilovima.

Papirnate ambalažne vrećice su biorazgradive te su ekološki prihvatljivije. U cilju smanjenja plastike i ekoloških utjecaja, sve se više koriste biorazgradive ambalažne vrećice za pakiranje različitih proizvoda.

Ambalažne vrećice se još koriste u poljoprivrednoj industriji kao ambalaža za pakiranje sjemena, gnojiva i drugih proizvoda. U građevinskoj industriji se koriste za pakiranje građevinskog materijala poput cementa, pijeska i žbuke.

Primjena ambalažnih vrećica ovisi o industrijskim i specifičnim potrebama proizvoda. Kvalitetna ambalaža pruža zaštitu proizvoda, olakšava transport i promociju brenda te može imati ekološki osviješten dizajn. [1]

2.4. VRSTE AMBALAŽNIH VREĆICA

Ambalažne vrećice dolaze u različitim oblicima i materijalima, prilagođenim različitim potrebama i proizvodima. Neke od glavnih vrsta ambalažnih vrećica su:

1. Plastične vrećice: vrećice od polietilena (PE) i od polipropilena (PP)
2. Papirnate vrećice: obične papirnate vrećice, kraft papirnate vrećice, luksuzne papirnate vrećice
3. Vrećice od vlaknastih materijala
4. Vakuum vrećice
5. Mrežaste vrećice
6. Metalizirane vrećice: aluminizirane vrećice (imaju sloj aluminija koji štiti proizvod od svjetla, vlage i kisika)
7. Biološki razgradive vrećice: vrećice od bio plastike
8. Vrećice za medicinske svrhe: sterilne vrećice (koriste se za pakiranje medicinskih instrumenata i opreme)
9. Vrećice za dostavu hrane

Ovisno o proizvodu, vrsti i ekološkim ciljevima, proizvođači mogu odabrati odgovarajuću vrstu ambalažne vrećice koja će najbolje zadovoljiti njihove potrebe. U posljednjim godinama sve je veći naglasak na ekološki prihvatljivim materijalima i dizajnu kako bi se smanjio ekološki otisak ambalaže. [3]

2.5. ISPITIVANJE SVOJSTAVA PAPIRA ZA IZRADU AMBALAŽNIH VREĆICA

2.5.1. GRAMATURA

Gramatura papira temeljna je fizička karakteristika koja se odnosi na gustoću ili masu papira po jedinici površine. Obično se izražava u gramima po kvadratnom metru (g/m^2). Razumijevanje gramature papira iznimno je važno u procesu proizvodnje papirnatih ambalažnih vrećica jer utječe na čvrstoću, debljinu i druge karakteristike materijala.

Utjecaj gramature na čvrstoću: Povećanje gramature papira obično rezultira većom čvrstoćom papira. To znači da papir veće gramature može podnijeti veću napetost i manje je sklon kidanju. Ovo je bitno za izradu ambalažnih vrećica koje moraju izdržati opterećenja tijekom rukovanja i transporta.

Gramatura papira je ključna karakteristika koja utječe na performanse i funkcionalnost papira u kontekstu izrade papirnatih ambalažnih vrećica. Razumijevanje njezinog utjecaja pomaže u odabiru odgovarajućih materijala za specifične potrebe ambalaže. [4]

2.5.2. PROSTORNA MASA

Prostorna masa papira, također poznata kao specifična masa, važna je karakteristika koja se na masu papira odnosi na jedini volumen. Obično se izražava u gramima po kubnom centimetru (g/cm^3) i igra ključnu ulogu u karakterizaciji papira i njegovoj primjeni u proizvodnji ambalažnih vrećica. Razumijevanje prostorne mase pomaže u utvrđivanju gustoće papira, što može biti važno za različite aspekte ambalaže.

Utjecaj prostorne mase na gustoću papira: Prostorna masa je pokazatelj gustoće papira. Papir s većom prostornom masom obično će imati veću gustoću, što znači da će biti kompaktniji i teži. Ovo je bitno za ambalažne vrećice koje zahtijevaju određenu razinu čvrstoće i stabilnosti.

Primjena prostorne mase u izradi ambalažnih vrećica: Odabir papira s određenom prostornom masom ovisi o specifičnim potrebama ambalaže. Na primjer, papir s višom prostornom masom može se preferirati za ambalažu teških proizvoda, dok papir s nižom

prostornom masom može biti bolji izbor za ambalažu proizvoda koji zahtijevaju propusnost.

Utjecaj prostorne mase na ekološku održivost: Razmatranje prostorne mase papira također je važno u kontekstu ekološke održivosti. Papir s nižom prostornom masom obično zahtijeva manje materijala za proizvodnju, što može imati pozitivan utjecaj na ekološki otisak. [5]

2.5.3. SPECIFIČNI VOLUMEN

Specifični volumen papira je važna fizička karakteristika papira koja se odnosi na volumen papira po jedinici mase. Ovaj se parametar obično izražava u kubnim centimetrima po gramu (cm^3/g) i igra ključnu ulogu u karakterizaciji papira te njegovoj primjeni u različitim industrijama, uključujući proizvodnju papirnatih ambalažnih vrećica.

Specifični volumen povezan je s gramaturom papira. Veća gramatura obično rezultira nižim specifičnim volumenom. Razumijevanje tog odnosa pomaže u odabiru pravog papira za specifične potrebe ambalaže.

Primjena specifičnog volumena u ambalaži: Specifični volumen igra važnu ulogu u odabiru papira za ambalažne vrećice. Na primjer, papir s nižim specifičnim volumenom može biti preferiran za ambalažu teških proizvoda kako bi se osigurala čvrstoća i stabilnost. [6]

2.5.4. GLATKOST PO BEKKU

Glatkost po Bekku je ključna karakteristika papira koja se odnosi na površinsku teksturu ili neravnine papira. Ovaj parametar ima značajan utjecaj na vizualni izgled i performanse papira, posebno u kontekstu izrade papirnatih ambalažnih vrećica. Razumijevanje Bekk glatkosti pomaže u odabiru papira koji će zadovoljiti estetske i funkcionalne zahtjeve ambalaže. [6]

2.5.5. MIKROSKOPIJA

Mikroskopija papira je tehnika koja omogućuje detaljno proučavanje strukture i morfologije papira na mikroskopskoj razini. Ova tehnika igra ključnu ulogu u razumijevanju unutarnjih svojstava papira, uključujući vlaknastu strukturu, poroznost i prisutnost defekata. Mikroskopija se koristi u istraživanjima papira te u kontroli kvalitete i razvoju novih materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica.

Analiza vlaknaste strukture: Mikroskopija omogućuje promatranje vlakana od kojih je napravljen papir. To je ključno za razumijevanje mehaničkih svojstava papira, uključujući čvrstoću i elastičnost.

Ispitivanje poroznosti: Mikroskopija se koristi za procjenu poroznosti papira, što može biti važno za papirne ambalažne materijale koji moraju kontrolirati protok zraka ili vlage.

Identifikacija defekata: Mikroskopija omogućuje identifikaciju i analizu defekata na površini ili unutar papira. Ovo je važno za osiguranje kvalitete papira u industriji ambalaže.

Istraživanje mikrostrukture: Mikroskopija omogućuje istraživanje mikrostrukture papira na razini mikrona, što je važno za razvoj novih materijala i poboljšanje performansi papirnatih ambalažnih vrećica. [8]

2.5.6. OTPORNOST NA KIDANJE

Otpornost na kidanje papira je ključna mehanička karakteristika koja se odnosi na sposobnost papira da izdrži vanjske sile koje pokušavaju razdvojiti njegovu vlaknastu strukturu. Ova karakteristika ima izuzetnu važnost u kontekstu izrade papirnatih ambalažnih vrećica, jer utječe na čvrstoću i integritet ambalaže te na sigurnost proizvoda koji se nalazi unutar nje.

Čvrstoća papira: Otpornost na kidanje je ključna za opću čvrstoću papira. Papir koji ima visoku otpornost na kidanje može podnijeti veću napetost i manje je podložan oštećenjima tijekom rukovanja i transporta.

Pravilan odabira papira za ambalažu: Razumijevanje otpornosti na kidanje omogućuje proizvođačima da odaberu odgovarajući papir za specifičnu ambalažnu primjenu. Na primjer, za ambalažu teških proizvoda potreban je papir visoke otpornosti na kidanje.

Zaštita proizvoda: Papirnate ambalažne vrećice moraju zaštititi proizvode unutar njih. Papir s odgovarajućom otpornošću na kidanje pomaže u osiguranju da proizvodi ostanu neoštećeni tijekom manipulacije i transporta.

Ekološki aspekt: Odabir papira s odgovarajućom otpornošću na kidanje također može utjecati na ekološku održivost, jer manja oštećenja i gubici proizvoda smanjuju potrebu za dodatnim ambalažnim materijalima.

Standardi i kontrola kvalitete: Industrija papira i ambalaže često koristi standarde za ispitivanje otpornosti na kidanje i kontrolu kvalitete papira kako bi osigurala da materijal ispunjava potrebne specifikacije. [9]

2.5.7. DVOSTRUKO SAVIJANJE

Dvostruko savijanje papira je mehaničko ispitivanje koje se koristi za određivanje fleksibilnosti i izdržljivosti papira kada je podvrgnut savijanju. Ova karakteristika igra ključnu ulogu u ocjenjivanju kako će se papir ponašati tijekom procesa pakiranja i rukovanja, što je od velike važnosti u proizvodnji papirnatih ambalažnih vrećica.

Fleksibilnost papira: Dvostruko savijanje omogućuje procjenu fleksibilnosti papira. Papir koji se lako savija može biti pogodan za ambalažu koja zahtijeva savijanje ili oblikovanje tijekom procesa pakiranja.

Otpornost na kidanje: Dvostruko savijanje također može pružiti informacije o otpornosti papira na kidanje. Papir koji se lako kidne tijekom savijanja može biti manje odgovarajući za ambalažu proizvoda koji zahtijevaju sigurno držanje i rukovanje.

Integritet ambalaže: Dvostruko savijanje pomaže u ocjenjivanju kako će ambalaža očuvati svoj integritet tijekom rukovanja i transporta. Papir s odgovarajućom izdržljivošću tijekom savijanja može osigurati da ambalaža ostane netaknuta i štiti proizvode unutar nje.

Pravilan izbor materijala: Razumijevanje rezultata ispitivanja dvostrukog savijanja pomaže proizvođačima da odaberu pravi papir za specifične potrebe ambalaže. Na primjer, za ambalažu koja mora zadržati svoj oblik tijekom prijevoza, potreban je papir visoke izdržljivosti tijekom savijanja.

Standardi i kontrola kvalitete: Industrija papira i ambalaže često koristi standarde za ispitivanje dvostrukog savijanja i kontrolu kvalitete papira kako bi se osiguralo da materijal ispunjava potrebne specifikacije. [9]

3. EKSPERIMENTALNI DIO



3.1. MATERIJALI

Eksperimentalni dio rada započeo je u laboratoriju na fakultetu pripremom uzoraka na kojima se provodilo ispitivanje.

Uzorci korišteni u istraživanju prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike materijala korištenih u istraživanju

| OZNAKA UZORKA | FOTOGRAFIJA | TRŽIŠNA NAMJENA |
|------------------|---|--|
| UZORAK 1 |  | Uzorak 1 napravljen je od bijelog papira, ima široku primjenu. Koristi se u više različitih industrija. Gladi je, deblji i kvalitetniji od uzorka 2 i 3. |

| | | |
|------------------------|---|---|
| <p>UZORAK 2</p> |  | <p>Uzorak 2 je smeđ i rađen je od recikliranih materijala, dosta je hrapaviji i tanji od uzorka 1. Namjena uzorka 2 je u prehrambenoj industriji, najviše u pekarama.</p> |
| <p>UZORAK 3</p> |  | <p>Uzorak 3 je izgledom dosta sličan uzorku 2, tj. smeđ je i izrađen od recikliranih materijala, te je hrapav. Namjena uzorka 3 je u prehrambenoj industriji, najviše u pekarama.</p> |

Materijali koji su korišteni u ovom istraživanju su samostalno nabavljeni od strane studentice iz tvornice koja se bavi njihovom proizvodnjom. Njihove karakteristike ovise o materijalu i primjeni, te o sastavu i debljini. Ove ambalažne vrećice se u žargonu struke jednim imenom nazivaju škartoci, fišeci ili škarnicl. Namjena ovih uzoraka je u prehrambenoj industriji pretežito u pekarama.

Ambalažne vrećice koje se koriste u pekarama obično su izgrađene od papira ili kartona i namijenjene su pakiranju svježeg kruha, peciva i drugih pekarskih proizvoda. Ove ambalažne vrećice imaju nekoliko karakteristika i zahtjeva. [10]

Ambalažne vrećice korištene u prehrambenoj industriji moraju biti higijenska i sigurna za kontakt s hranom kako bi se očuvao pekarski proizvod. Iznimno je bitna zaštita od vanjskih elemenata tj. ambalaža treba zaštititi proizvod od vlage, prašine i kontaminacije. Neke ambalažne vrećice na sebi imaju prozor ili otvor, tj. često se dodaju prozori ili otvori na ambalaži kako bi kupci mogli vidjeti proizvode prije kupnje. Dizajn i branding: ambalaža može biti prilagođena s logotipom i dizajnom pekare kako bi se stvorila prepoznatljivost i promovirali proizvod. Praktičnost za kupce: ambalaža treba biti praktična za kupce, što uključuje jednostavno otvaranje i zatvaranje. Održivost: s obzirom na ekološke brige, pekare sve više prelaze na ambalažu koja je ekološki prihvatljivija, poput papira koji se može reciklirati.

Sva ispitivanja provedena su u skladu sa standardnim metodama, u kontroliranim laboratorijskim uvjetima primjenom ISO 187 metode. Ovi uvjeti uključuju klimatizaciju papira na temperaturu od 23 °C s preciznošću od ± 1 °C i održavanje relativne vlažnosti zraka na 50% s preciznošću od $\pm 2\%$. U cilju provođenja ovih ispitivanja, koristile su se metode i uređaji koji su definirani standardima. Osim toga, standardi su također pružili smjernice za obradu rezultata ispitivanja i specificirali odgovarajuće mjerne jedinice za rezultate. [12]

3.2. METODE

3.2.1. ODREĐIVANJE GRAMATURE PAPIRA

Gramatura je težina jednog četvornog metra papira, kartona ili kartona izražena u gramima, u SI sustavu jedinica za gramaturu je g/m^2 . Gramatura uključuje sve komponente kao što su punila, vlakna i određenu količinu vlage u papiru koja je prisutna u određenim klimatskim uvjetima. [4]

Kao najčešći način klasifikacije papira koristi se težina prema kojoj se proizvodi papirne industrije dijele na papir i karton. Između ove dvije vrste proizvoda postoje određene granice, iako nisu strogo definirane. Obično se koristi Klemmova podjela koja daje sljedeće granice: za papire od 6 do 150 g/m^2 , za karton od 250 do 500 g/m^2 , a za karton

od 600 do 5000 g/m². Međutim, postoje razlike u težini između pojedinih vrsta proizvoda koje se odnose na obje vrste materijala.

Najprecizniji način određivanja gramature je gravimetrijski (vaganje). To se postiže izračunavanjem aritmetičke sredine mase nekoliko uzoraka papira izrezanih na dimenzije 10 x 10 cm, pomoću precizne vage.

$$g = \frac{m}{A} 10000 \text{ [g/m}^2\text{]}$$

m-masa papira, g

A-površina papira cm²

g-gramatura papira, g/m²

Ispitivanje se provodi prema standardima ISO 536 („Paper and board — Determination of grammage“) i Tappi T 410 („Grammage of paper and paperboard (weight per unit area)“). Uzorci se režu nožem s točnošću čija su odstupanja unutar 1% i važu na preciznoj vagi s točnošću od ± 0,2%.

Za vaganje uzoraka koriste se analitičke vage. U standardnim laboratorijskim uvjetima, preciznim nožem (giljotinom) reže se 20 uzoraka dimenzija 10 x 10 cm. Prije testiranja uzorke je potrebno kondicionirati na standardne klimatske uvjete koji uključuju 50% relativne vlažnosti zraka i temperaturu od 23°C (prema ISO 187). Vaganje se također provodi u klimatiziranoj prostoriji. Masa pripremljenih uzoraka određuje se u gramima.

Gramatura se određuje računskim putem iz podataka o masi uzoraka, prema prethodno navedenoj formuli. Konačni rezultat gramature je aritmetička sredina pojedinačnih mjera, zaokružena na cijeli broj, u skladu s gore navedenim standardom. [4]



Slika 4. Giljotina za rezanje

Izvor: Vlastiti izvor



Slika 5. Analitička vaga

Izvor: Vlastiti izvor

3.2.2. MJERENJE DEBLJINE PAPIRA

Debljina (engl. thickness) papira, kartona i ljepenke određuje se zbog više razloga. Mjerenjem debljine može se kontrolirati ujednačenost proizvodnje u izradi lista na papir

stroju, potrebna nam je pri izračunavanju prostorne mase papira. Debljina papira, kartona i ljepenke između ostaloga utječe na krutost savijanja, na prolaz kroz tiskarski stroj, te na ostale faze u tisku i doradi. Debljina kao fizičko svojstvo papira utječe na dobivanje ujednačenog otiska. U proizvodnji papira dozvoljena je mala tolerancija u odstupanju debljine papira jer bi odstupanja u debljini izdanja od nekoliko stotina strana u suprotnom bila kumulativna i dovela do velikih grešaka. Na debljinu papira, kartona i ljepenke može se utjecati na natoku papir stroja i na kalenderu pri glačanju gotovog papira. Debljina papira, kartona ili ljepenke je udaljenost između dviju paralelnih strana ispitivanog lista. Vrijednosti debljine papira kreću se od 0,006 mm za kondenzatorske i cigaretno papire (gramature 6 g/m²), pa do nekoliko mm u debljim kartonima odnosno ljepenkama. Debljina papira, kartona i ljepenke određuje se mjerenjima na mikrometru, ulaganjem uzorka između dviju paralelnih metalnih mjernih ploha, a izražava se u milimetrima s preciznošću od 0,001 mm. Mjerenje se provodi prema standardu Tappi T 411 („Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board“) ili ISO 534:2011 („Paper and board — Determination of thickness, density and specific volume“). Površine između kojih se vrši mjerenje moraju biti glatke, paralelne, određene veličine i moraju pritiskati jedna drugu pod stalnim opterećenjem od $1 \pm 0,10$ kp/cm². Uzorci se prije ispitivanja klimatiziraju u standardnim uvjetima od 50% relativne vlažnosti zraka i 23°C. Prije samog mjerenja treba provjeriti jesu li mjerne površine čiste, kako ne bi došlo do nakupljanja vlakanaca iz papira i pogrešnih, visokih vrijednosti debljine papira. Da bi se dobila prosječna debljina potrebno je izvršiti najmanje 20 mjerenja.

Velik broj uzoraka zahtijeva se zbog nehomogenosti papirne tvorevine. Standard razlikuje najmanje dva tipa mjerenja: mjerenje na pojedinačnim listovima – za uzorke čija je debljina veća od 0,04 mm i mjerenje na snopu listova (obično 5) – za uzorke čija je debljina manja od 0,04 mm.

Prilikom mjerenja treba voditi računa da se sva mjerenja provedu na istoj strani lista (pustenoj ili sitojoj). Ukoliko se mjerenja vrše na pojedinačnim listovima, epruvete moraju biti dimenzija 60 x 60 mm (ili veće), a mjerno mjesto nalazi se najmanje 20 mm udaljeno od ruba. U slučaju mjerenja debljine u snopu, najmanja dimenzija epruvete bi trebala biti 200 x 250 mm, s udaljenošću mjernog mjesta 40 mm od ruba. Mjerena debljina dobije se za pojedinačne listove računskim putem kao aritmetička sredina pojedinih

mjerenja. Pri mjerenju debljine snopa listova prvo se izračunavaju aritmetička sredina pojedinih mjerenja i tako dobiveni broj dijeli se s brojem listova u snopu. [4]



Slika 6. Elektronički ručni mikrometar za ispitivanje debljine papira, kartona i ljepenke

Izvor: Vlastiti izvor

Tehničke značajke korištenog mikrometra:

Mjerni raspon: 0 - 10 mm

Rezolucija: 0.001 mm [11]

3.2.3. ODREĐIVANJE PROSTORNE MASE

Prostorna masa ili gustoća papira, kartona ili kartona predstavlja masu jednog kubnog centimetra ispitivanog uzorka. Dobiva se iz omjera gramature (mase po jedinici površine) i debljine papira i izražava se u g/cm^3 .

$$\gamma = \frac{X}{d \times 100} [\text{g/cm}^3]$$

γ – prostorna masa, g/cm^3

x – gramatura, g/m^2

d – debljina, mm

Za izračun volumetrijske težine potrebno je uzeti u obzir vrijednosti gramature i debljine papira. Volumetrijska težina papira ima širok raspon vrijednosti, kod bugačice (jako upijajućih papira) je oko 0,30 g/cm³, dok je kod pergament papira oko 1,35 g/cm³. Ove razlike u vrijednostima ukazuju na značajne karakteristike papira i čine prostornu masu važnim strukturnim parametrom.

Na volumensku masu papira snažno utječu različiti dodaci koji se koriste u proizvodnji papira (punila, veziva, bojila), vrsta vlakana i njihova obrada, kao i mehanička obrada mase (mljevenje), sušenje i naknadna obrada. Od papira (saten). Prostorna masa papira pokazuje relativnu količinu zraka prisutnog u papiru, koji ima utjecaj na optička i mehanička svojstva (kao što su struktura, poroznost i kompaktnost papira).

Prostorna masa ima velik utjecaj na fizikalna svojstva papira. U praksi se rjeđe koristi pojam prostorne mase, a češće specifični volumen. Specifični volumen definiran je kao omjer debljine i gramature papira, odnosno volumena 1 g papira izraženog u cm³. [5]

3.2.4. ODREĐIVANJE SPECIFIČNOG VOLUMENA

Specifični volumen predstavlja volumen koji jedan gram ispitivanog papira, kartona ili kartona zauzima u prostoru. Izračunava se kao omjer debljine i gramature papira i izražava se u cm³/g.

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{d}{X} \times 1000 \text{ [cm}^3\text{/g]}$$

1/γ – specifični volumen (engl. bulk), cm³/g

d – debljina, mm

x – gramatura, g/m²

Kada se govori o radovima, često se koristi terminologija jednostruki, jedan i pol struki ili dvostruki volumen. Ovi termini se odnose na volumetrijsku masu papira, pri čemu se jednostruki volumen odnosi na 1 g/cm³, a dvostruki volumen na 0,50 g/cm³. [6]

3.2.5. GLATKOST PO BEKKU



Slika 7. PTI-Line Bekk

Izvor: Vlastiti izvor

Ispitivanje glatkosti papira provodi se uređajem PTI-Line Bekk prema standardu ISO 5627 (*Paper and board - Determination of smoothness (Bekk method)*) ili TAPPI standardu T 479. Uređaj je opremljen jednom mjernom glavom za ispitivanje glatkoću papira i sličnih materijala prema navedenim standardima. Također sadrži integrirano računalo i ekran za grafički prikaz rezultata. Uređaj daje rezultate s točnošću od 0,1 sekunde, ali se mjerenje vrši na mjernoj površini od 10 cm². Ispitivanje glatkosti papira se prema spomenutom standardu provodi na najmanje 10 uzoraka papira minimalnih dimenzija 50 x 50 mm. Nakon klimatizacije na standardne uvjete, papiru se označe strane i vrši se najmanje pet ispitivanja sa svake strane papira. Rezultati se izražavaju kao aritmetička sredina pojedinih mjerenja zaokružena na cijeli broj. Kod nepremazanih papira sitna strana je uvijek hrapavija od pustene strane, koja je u pravilu glađa. Za ispitivanje glatkosti papira, uzorak se stavlja na staklenu pločicu s ispitivanom stranom okrenutom prema dolje. Nakon toga, pritiskom na tipku "Start", mjerna glava se spušta i pritišće uzorak na staklenu pločicu s masom od 10 kg. Ovim postupkom se određuje glatkost površine papira dok je pod umjerenim pritiskom.

Zatim, pomoću vakuumske pumpe, spremnik za zrak se isprazni do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Nakon toga, između površine papira i staklene pločice se usisava zrak iz definiranog volumena sve dok tlak u spremniku ne padne na 48.0 kPa. Mjeri se vrijeme u sekundama

koje je potrebno za usisavanje 10 ml zraka. Ovisno o glatkosti ili hrapavosti papira, zrak se usisava sporije ili brže između površine papira i staklene pločice.

Odnosno, veći rezultat (veći broj sekundi) ukazuje na veću glatkost ispitivanog uzorka. Glatkost prema Bekku se dakle određuje vremenom u sekundama, koje je potrebno da se usiše volumen zraka od 10 ml između površine papira i ravne, staklene pločice. Mjerenje se izvodi pri definiranoj razlici u tlaku (od 50.7 do 48.0 kPa).

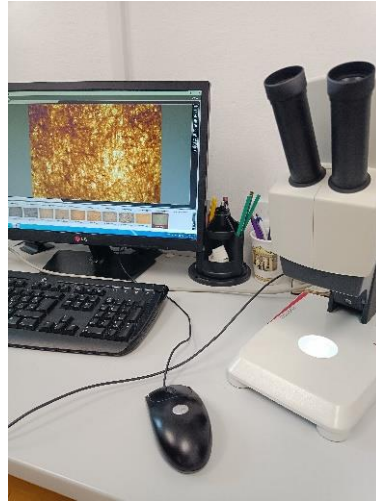
Jedan od nedostataka ove metode je moguće izoliranje nekih neravnina prilikom mjerenja, tako da one ne ulaze u rezultat. U nekim slučajevima neravnine dovode do toga da se usisavanje zraka odvija kanalima samo preko dijela površine papira. [7] [11]

3.2.6.MIKROSKOPIJA

Mikroskopija je ključna tehnika koja omogućuje vizualizaciju i analizu mikrostrukture i karakteristika papira. Papir, kao široko korišteni materijal, ima raznoliku primjenu u industriji, umjetnosti i svakodnevnom životu. Stoga, proučavanje njegove mikrostrukture kroz različite mikroskopske metode pruža vrijedne informacije o njegovim fizikalnim i mehaničkim svojstvima.

- Optička mikroskopija:

Optička mikroskopija koristi svjetlo za promatranje uzoraka papira. Uzorci se pripremaju, tanko režu i boje prikladnim bojama kako bi se bolje vizualizirali pod mikroskopom. Ova metoda omogućuje proučavanje mikrostrukture papira, kao što su vlakna, šupljine, napukline i druge značajke, s razlučivošću do nekoliko mikrometara. Optička mikroskopija posebno je korisna za analizu površine i presjeka papira te za procjenu uniformnosti i kvalitete uzorka. [8]



Slika 8. Mikroskop

Izvor: Vlastiti izvor

3.2.7. ODREĐIVANJE OTPORNOSTI NA KIDANJE

Uzorci za ispitivanje uzimaju se s različitih mjesta. Minimalni broj ispitivanja iznosi deset, tj. uzima se minimalno 10 uzoraka za ispitivanje. Uzorci, na kojima je ispitan otpor prema kidanju, izrezivani su iz araka u uzdužnom i poprečnom smjeru. Testiranje je uključivalo izrezivanje najmanje pet uzoraka u uzdužnom i pet u prethodnom smjeru. Pri tome su rubovi epruveta bili paralelni i bez oštećenja. Za rezanje se koriste specijalni uređaji za rezanje traka (giljotine). Uzorci su bili široki 15 mm sa slobodnom dužinom od 180 mm (traka je bila duža radi pričvršćivanja krajeva u hvataljke).

Pokus kidanja služio je za određivanje otpornosti prema kidanju (izražene u kilopondima ili N) i prekidnog rastezanja (%; mm). Vrijednosti su očitavane na uređaju, dok su ostale veličine, poput prekidne vrijednosti papira i indeksa kidanja, određivane računski iz izmjerenih vrijednosti.

Testiranje se provodilo na uređaju poznatom kao "kidalica" (Frank). To je uređaj koji je istežao ispitivani uzorak definiranih dimenzija pod uvjetima stalno rastućeg opterećenja, pri čemu se registrirala prekidna sila (kp; N) i prekidno istežanje (%; mm). Uzorci za ispitivanje pričvršćivali su se na dvije hvataljke koje su se udaljavale jedna od druge pod

stalnim opterećenjem sve do trenutka kidanja ispitivanih uzoraka. Vrijeme ispitivanja, od početka do pucanja uzorka, održavalo se u rasponu od 20 ± 5 sekundi. [9]



Slika 9. Kidalica

Izvor. Vlastiti izvor

Kidalica je registrirala silu na vlaknu potrebnu za kidanje ispitivane trake papira. Ta sila poznata je kao prekidna sila i izražena je u kilopondima (kp) ili Newtonima (N). Prekidna sila definirana je kao maksimalna sila koja uzrokuje pucanje (kidanje) uzorka. Djeluje jednodimenzionalno na uzorak. otpor osimnosti prema kidanju, kidalica je mjerila i prekidno istezanje papira. To je postotno povećanje dimenzija papira od početnog stanja, kada je uređaj bio u miru, do trenutka kidanja trake.

Ispitivanje se provodi prema standardima:

TAPPI: T 404 cm – 92 Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard,
HRN ISO 1924 – 1: Papir i karton – Određivanje vlačnih svojstava 1. dio: Metoda stalnog opterećenja (ISO 1924-1:1992)

Veličine koje se ispitivanjem otpornosti papira prema kidanju određuju računski:

1. Prekidna dužina

Prekidna dužina trake ispitanog papira predstavlja dužinu koja bi pukla pod vlastitom težinom kada bi bila obješena za jedan kraj. Izračunava se kao omjer prekidne sile i umnožne širine trake i gramature, te se izražava u kilometrima.

Formula:

$$L = \left(\frac{F}{g \times b} \right) \times 1000$$

L – prekidna dužina (km)

F – prekidna sila (kp)

g – gramatura (g/m^2)

b – širina trake (mm)

Ova vrijednost omogućuje usporedbu prekidnih dužina uzoraka papira različitih gramatura. Posebno je važno ispitati otpornost papira prema kidanju za papire koji se tiskaju iz role, pogotovo kada se koriste na brzotisnim strojevima, zbog zahtjeva mehaničke čvrstoće. Ukoliko ovim ispitivanjem utvrdimo da je prekidna dužina testiranog papira 3500 metara ili manja, postoji vjerojatnost da će se traka papira puknuti tijekom tiska. Stoga, takve papire nije preporučljivo koristiti za tisak iz role.

2. Prekidna jakost

Prekidna jakost papira predstavlja maksimalnu prekidnu silu koju papir može podnijeti po jedinici širine ispitanog uzorka prije nego što dođe do kidanja. Izračunava se kao omjer prekidne sile i širine uzorka, a izražava se u kN/m.

$$S = \frac{F}{b}$$

S – prekidna jakost (kN/m)

F – prekidna sila (N)

b – širina trake (mm)

3. Indeks kidanja

Indeks kidanja je omjer prekidne jakosti i gramature papira, izražen u Nm/g. Ovaj indeks omogućuje međusobno uspoređivanje rezultata dobivenih izmjerenih na uzorcima papira različitih gramatura. [9]

$$I = \frac{S}{g} \times 1000$$

I – indeks kidanja (Nm/g)

S – prekidna jakost (kN/m)

g – gramatura (g/m²)

3.2.8. ODERĐIVANJE BROJA DVOSTRUKIH SAVIJANJA

Test za određivanje broja dvostrukih savijanja poznat je i kao test otpornosti na savijanje. Otpornost na kidanje i tlaku, otpornost na savijanje također je izuzetno važno mehaničko svojstvo papira, kartona i ljepenki. To posebno vrijedi za papire koji se koriste u strojevima za pakiranje, ali i za one koji se svakodnevno savijaju i gužvaju, kao što su novčanice. Otpornost na savijanje snažno ovisi o dužini vlakana i njihovom modulu elastičnosti. Rezultati ispitivanja omogućuju zaključivanje o duljini vlakana i njihovoj fleksibilnosti. [9]



Slika 10. Uređaj za dvostruko savijanje papira

Izvor: Vlastiti izvor

Sam postupak ispitivanja uključuje mjerenje broja dvostrukih savijanja koje uzorak određenih dimenzija može izdržati prije nego što dođe do pucanja.

Uzorak papira se fiksira u hvataljke postavljene kroz okomiti prorez jedne metalne pločice te se optereti na vlak. Pomicanjem pločice naprijed-natrag dolazi do dvostrukog savijanja uzorka.

Obično se reže po deset uzoraka iz svakog smjera, na dimenzije:

- Papiri debljine do 0,25 mm: 15 x 100 mm
- Papiri i kartoni debljine od 0,25 do 1,4 mm: 15 x 140 mm

Uzorci se pričvršćuju u uređaj i opterećuju na vlak s određenim silama:

- 0,5 kp za svilene papire
- 1 kp za papire
- 1,3 kp za kartone

Nakon toga, uređaj se pokreće, a automatski brojač registrira broj dvostrukih savijanja. U trenutku pucanja, brojač se automatski zaustavlja.

Kao rezultat ispitivanja dobivaju se sljedeći podaci: srednja vrijednost broja dvostrukih savijanja u uzdužnom smjeru, srednja vrijednost broja dvostrukih savijanja u prethodnom smjeru te ukupna srednja vrijednost iz oba smjera. Također, uzimaju se u obzir relativna odstupanja pojedinačnih vrijednosti od srednje vrijednosti. [9]

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. MASA I GRAMATURA PAPIRA

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

Tablica 2. Rezultati za masu uzorak 1

| Uzorak 1 – masa (g) | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,412 | 0,417 | 0,420 | 0,425 | 0,416 | 0,411 | 0,413 | 0,429 | 0,416 | 0,428 |
| 7 | 1 | 4 | 5 | 2 | 9 | 8 | 5 | 8 | 3 |
| Srednja vrijednost mase = 0,41922g | | | | | | | | | |

Tablica 3. Rezultati za masu uzorak 2

| Uzorak 2 – masa (g) | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,381 | 0,386 | 0,386 | 0,392 | 0,391 | 0,391 | 0,385 | 0,382 | 0,386 | 0,379 |
| 5 | 6 | 7 | 1 | 5 | 9 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| Srednja vrijednost mase = 0,38648g | | | | | | | | | |

Tablica 4. Rezultati za masu uzorak 3

| Uzorak 3 – masa (g) | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,381 | 0,385 | 0,384 | 0,378 | 0,377 | 0,384 | 0,375 | 0,380 | 0,377 | 0,381 |
| 1 | 3 | 5 | 9 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 8 |
| Srednja vrijednost mase = 0,38062g | | | | | | | | | |

Usporedbom rezultata prikazanih u Tablicama 2, 3 i 4 zaključeno je koji uzorak ima najveću masu, a to je uzorak 2. Iz rezultata također je vidljivo kako uzorci 3 i 4 ima sličnu masu, to jest razlika između njih je vrlo mala. Ovi podaci služit će za izračun gramature.

Formula za gramaturu:

$$g = \frac{m}{A} 10000 \text{ [g/m}^2\text{]}$$

Tablica 5. Gramatura svih ispitivanih uzoraka

| Gramatura (g/m ²) | | |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
| 41,922 | 38,648 | 38,062 |

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/m². Iz rezultata prikazanih u Tablici 5, zaključeno je da uzorak 1 ima najveću gramaturu, što je bilo i očekivano s obzirom na to da ima najveću masu. Iz Tablice je također vidljivo da uzorci 2 i 3 imaju sličnu gramaturu, to je bilo očekivano budući da imaju sličnu i masu. 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 10 puta te se izračuna aritmetička sredina. Svi rezultati prikazani u Tablici izraženi su u milimetrima.

Tablica 6. Rezultati za masu uzorak 1

| Uzorak 1 – debljina (mm) | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,041 | 0,037 | 0,048 | 0,041 | 0,040 | 0,044 | 0,040 | 0,039 | 0,040 | 0,047 |
| Srednja vrijednost mase = 0,0417 mm | | | | | | | | | |

Tablica 7. Rezultati za masu uzorak 2

| Uzorak 2 – debljina (mm) | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,081 | 0,069 | 0,089 | 0,078 | 0,075 | 0,074 | 0,077 | 0,074 | 0,068 | 0,074 |
| Srednja vrijednost mase = 0,0759 mm | | | | | | | | | |

Tablica 8. Rezultati za masu uzorak 3

| Uzorak 3 – debljina (mm) | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,054 | 0,082 | 0,076 | 0,087 | 0,071 | 0,101 | 0,081 | 0,078 | 0,075 | 0,071 |
| Srednja vrijednost mase = 0,0776 mm | | | | | | | | | |

U Tablicama 5, 6 i 7 prikazani su dobiveni rezultati za debljinu uzoraka. Izračunom srednje vrijednosti debljine uzoraka vidljivo je da uzorak 1 ima najmanju debljinu, dok uzorak 3 ima najveću debljinu. Debljina je potreba za izračun prostorne mase i specifičnog volumena.

4.3. PROSTORNA MASA

Formula za prostornu masu:

$$\gamma = \frac{X}{d \times 100} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

X=gramatura

d=debljina

Tablica 9. Prostorna masa svih ispitivanih uzoraka

| Prostorna masa (g/cm ³) | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
| 1,00532 | 0,509196 | 0,49049 |

Prostorna masa predstavlja masu jednog kubičnog centimetra ispitivanog uzorka. U Tablici broj 8 su prikazani rezultati dobiveni formulom za svaku vrstu papira uzorak 1 ima najveću prostornu masu, a uzorak 3 najmanju. Svi rezultati u Tablici izraženi su mjernom jedinicom g/cm^3 .

4.4.SPECIFIČNI VOLUMEN

Formula za specifični volumen:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{d}{X} \times 1000 [cm^3/g]$$

$1/\gamma$ – specifični volumen (engl. bulk), cm^3/g

d – debljina, mm

x – gramatura, g/m^2

Tablica 10. Specifični volumen svih ispitivanih uzoraka

| Specifični volumen (cm^3/g) | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
| 0,994704 | 1,96388 | 2,03878 |

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 9 su prikazani dobiveni rezultati svih ispitivanih uzoraka iz kojih se zaključuje da uzorak 3 ima najveći specifični volumen, a uzorak 1 ima najmanji. Mjerna jedinica kojom se prikazuju dobiveni rezultati je cm^3/g .

Tablica 11. Rezultati ispitivanja općih svojstava ispitivanih uzoraka

| | Gramatura (g/m²) | Debljina (mm) | Prostorna masa (g/cm³) | Specifični volumen (cm³/g) |
|-----------------|--|----------------------|--|--|
| Uzorak 1 | 41,922 | 0,0417 | 1,00532 | 0,994704 |
| Uzorak 2 | 38,648 | 0,0759 | 0,509196 | 1,96388 |
| Uzorak 3 | 38,062 | 0,0776 | 0,49049 | 2,03878 |

U Tablici 11 prikazani su rezultati za četiri opća svojstva ispitivanih uzoraka, a to su gramatura, debljina, prostorna masa i specifični volumen. Usporedbom rezultata za gramaturu zaključeno je da uzorak 1 ima najveću gramaturu koja iznosi 41,922 g/m², te da uzorak 3 ima najmanju koja iznosi 38,062 g/m². Zatim je provedenim mjerenjem izračunato da debljina kod uzorka 3 najveća i ona iznosi 0,0776 mm, te uzorak 1 ima najmanju debljinu i ona iznosi 0,0417 mm. Iz Tablice je vidljivo da najveću prostornu masu odnosno gustoću papira ima uzorak 1 i ona iznosi 1,00531 g/cm³, a najmanju uzorak 3 koja iznosi 0,49049 g/cm³. I zadnje opće svojstvo koje se nalazi u ovoj Tablici je specifični volumen koji je najveći kod uzorka 3 i iznosi 2,03878 cm³/g, a najmanji kod uzorka 1 0,9947047 cm³/g.

Iz rezultata je vidljivo da su prostorna masa i specifični volumen međusobno u obrnuto proporcionalnom odnosu. Obje vrijednosti ovise o gramaturi i debljini što je vidljivo iz formula.

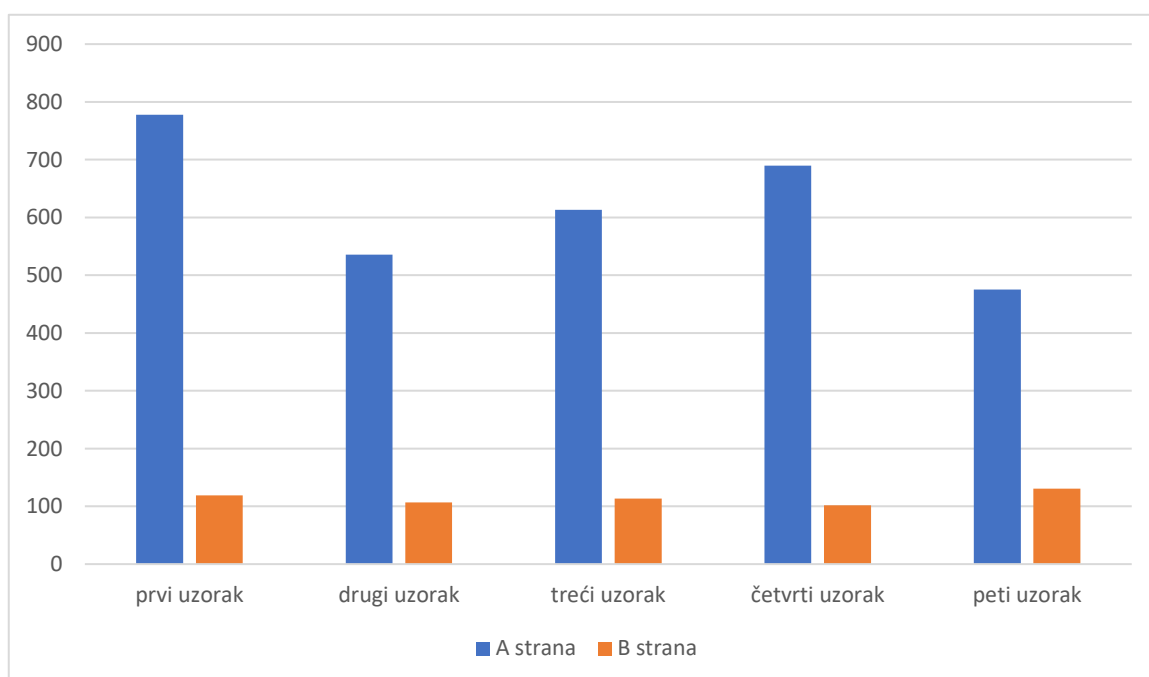
4.5. GLATKOST PO BEKKU

Ispitivanje glatkosti papira se provodi na najmanje 10 uzoraka papira minimalnih dimenzija 50 x 50 mm. Nakon klimatizacije na standardne uvjete, papiru se označe strane i vrši se najmanje pet ispitivanja sa svake strane papira. Rezultati se izražavaju kao aritmetička sredina pojedinih mjerenja zaokružena na cijeli broj. Kod nepremazanih papira sitena strana je uvijek hrapavija od pustene strane, koja je u pravilu glađa.

Tablica 12. Rezultati mjerenja glatkosti po Bekku uzorak 1

| Volumen 1/20 | | |
|-----------------|---------------|---------------|
| Uzorak broj | A | B |
| 1 | 777,8 | 119,2 |
| 2 | 535,8 | 106,6 |
| 3 | 613,2 | 113,6 |
| 4 | 689,6 | 101,8 |
| 5 | 475,3 | 130,8 |
| Prosjek | 618,34 | 114,40 |
| Std. Dev | 120,21 | 11,32 |

Dijagram 1. Rezultati ispitivanja glatkosti po Bekku za uzorak 1 , A i B strana

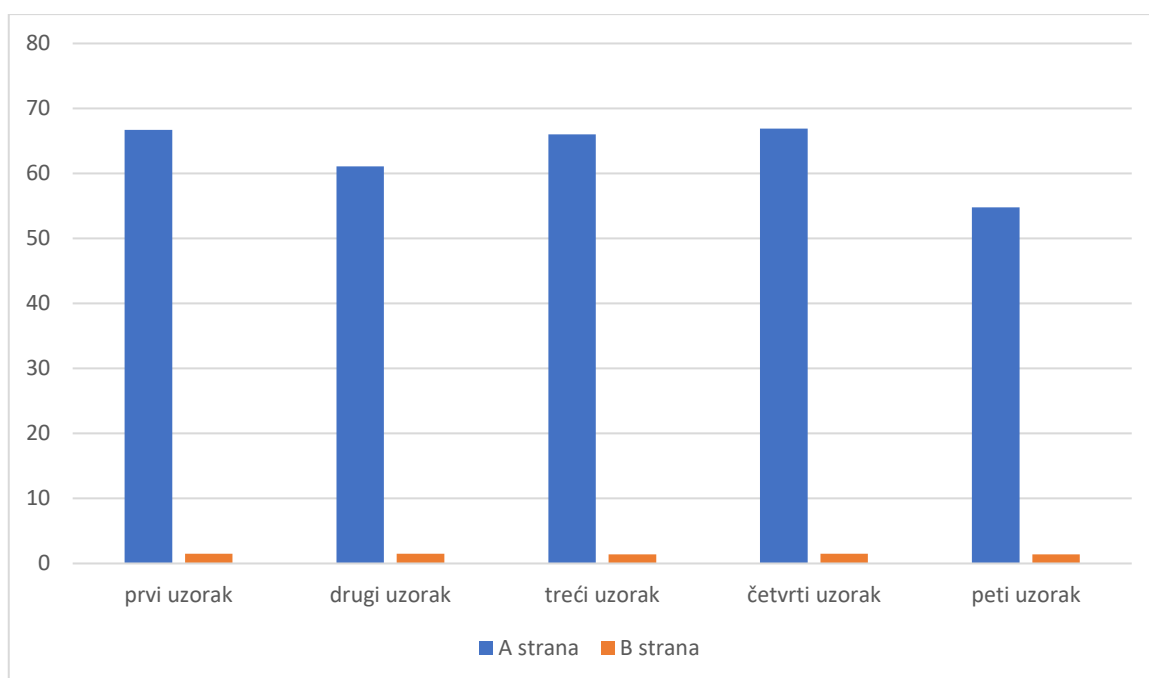


Iz Tablice 12 i Dijagrama 1 vidljivo je da veću glatkost ima A strana uzorka, te to znači da je to pustena strana papira. Maksimalna vrijednost za A stranu uzorka 1 izmjerena je za prvi uzorak i iznosi 777,8 s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za peti uzorak i iznosi 475,3 s. Maksimalna vrijednost za B stranu uzorka 1 izmjerena je za peti uzorak i iznosi 130,8 s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za četvrti uzorak i iznosi 101,8 s.

Tablica 13. Rezultati mjerenja glatkosti po Bekku uzorak 2

| Volumen 1/1 | | |
|-----------------|--------------|-------------|
| Uzorak broj | A | B |
| 1 | 66,7 | 1,5 |
| 2 | 61,1 | 1,5 |
| 3 | 66,0 | 1,4 |
| 4 | 66,9 | 1,5 |
| 5 | 54,8 | 1,4 |
| Prosjek | 63,10 | 1,46 |
| Std. Dev | 5,21 | 0,05 |

Dijagram 2. Rezultati ispitivanja glatkosti po Bekku za uzorak 2, A i B strana

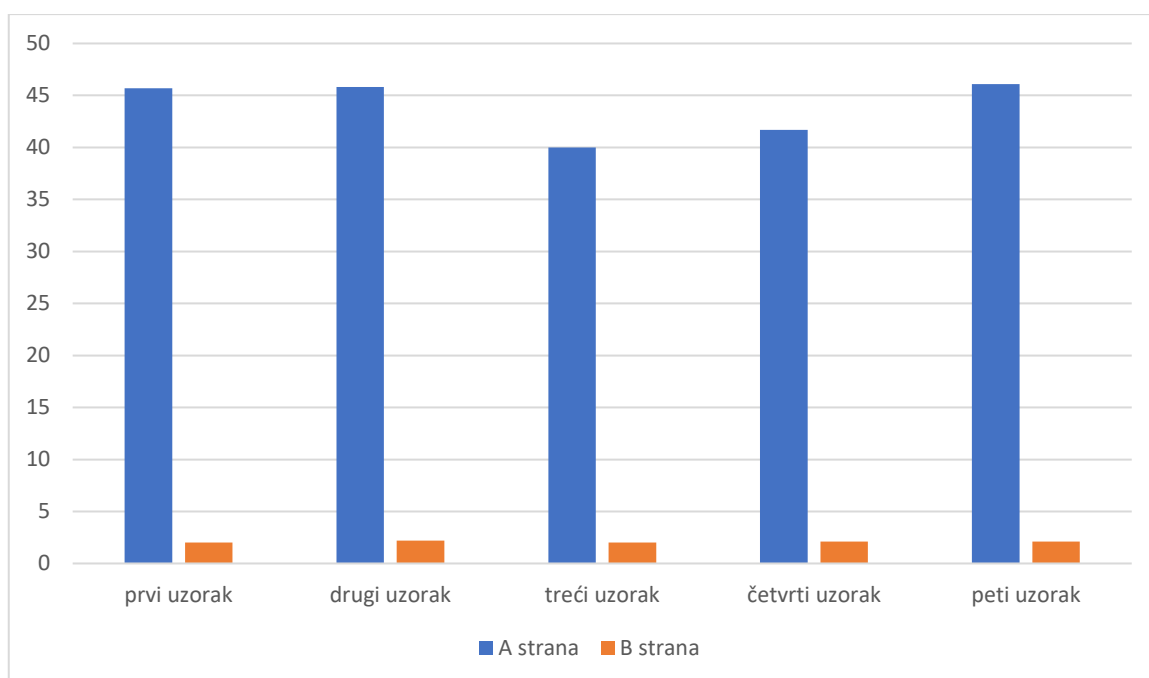


Iz Tablice 13 i Dijagrama 2 vidljivo je da veću glatkost ima A strana uzorka, te to znači da je to pustena strana papira. . Maksimalna vrijednost za A stranu uzorka 2 izmjerena je za četvrti uzorak i iznosi 66,9 s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za peti uzorak i iznosi 54,8 s. Maksimalna vrijednost za B stranu uzorka 2 izmjerena je za prvi, drugi i četvrti uzorak i iznosi 1,5 s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za treći i peti uzorak i iznosi 1,4 s.

Tablica 14. Rezultati mjerenja glatkosti po Bekku uzorak 3

| Volumen 1/1 | | |
|-----------------|--------------|-------------|
| Uzorak broj | A | B |
| 1 | 45,7 | 2,0 |
| 2 | 45,8 | 2,2 |
| 3 | 40,0 | 2,0 |
| 4 | 41,7 | 2,1 |
| 5 | 46,1 | 2,1 |
| Prosjek | 43,86 | 2,08 |
| Std. Dev | 2,82 | 0,08 |

Dijagram 3. Rezultati ispitivanja glatkosti po Bekku za uzorak 3, A i B strana

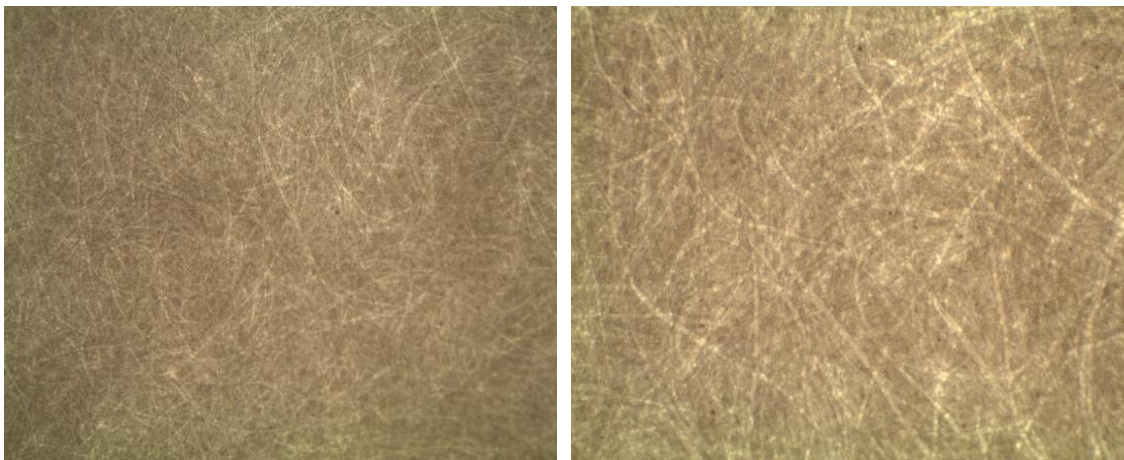


Iz Tablice 14 i Dijagrama 3 vidljivo je da veću glatkost ima A strana uzorka, te to znači da je to pustena strana papira. Maksimalna vrijednost za A stranu uzorka 3 izmjerena je za peti uzorak i iznosi 46,1s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za treći uzorak i iznosi 40,0 s. Maksimalna vrijednost za B stranu uzorka 2 izmjerena je za drugi uzorak i iznosi 2,2 s, dok je minimalna vrijednost izmjerena za prvi i treći uzorak i iznosi 2,0

s.Uzorak 1 sa A strane pokazuje najveće odstupanje od rezultata ispitivanja glatkosti po Bekku što je posljedica neujednačenosti površine.

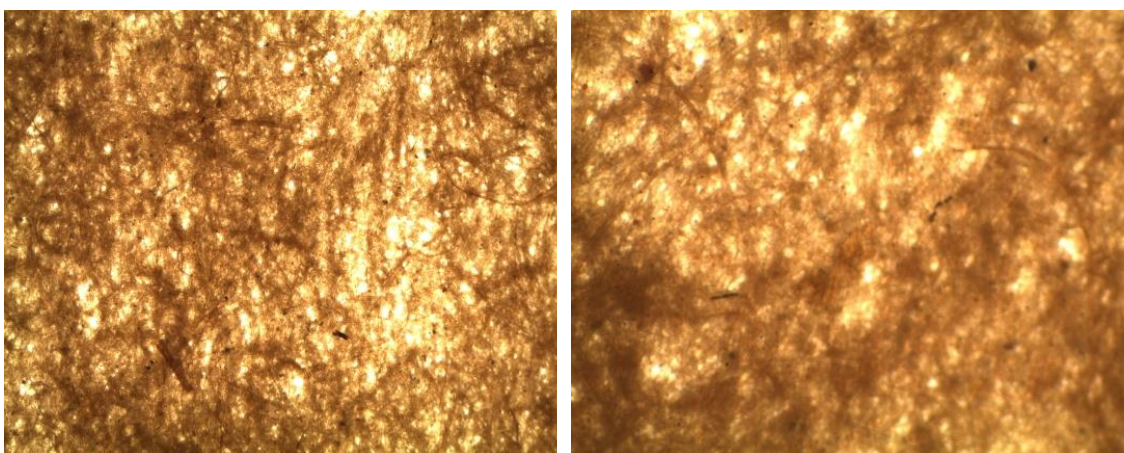
4.6. MIKROSKOPIJA

Ispitivanje mikroskopije je rađeno na svjetlosnom mikroskopu. Promatrala sam sva tri uzorka na dva povećanja. Pomoću mikroskopije se поближе može vidjeti sastav samih uzoraka i vlakanca.



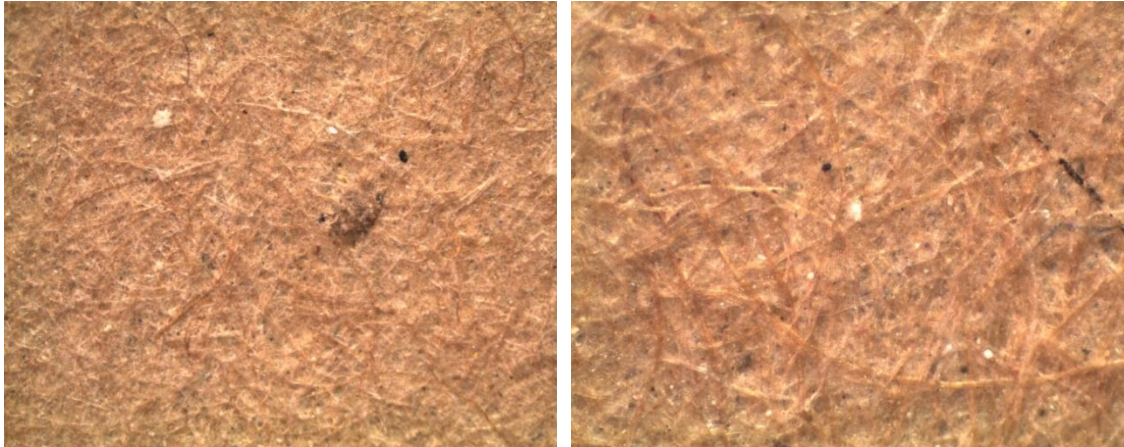
Slika 11. Mikroskopski prikaz uzorka 1, povećanje 12,5 i 30 puta

Izvor: Vlastiti izvor



Slika 12. Mikroskopski prikaz uzorka 2, povećanje 12,5 i 30 puta

Izvor: Vlastiti izvor



Slika 13. Mikroskopski prikaz uzorka 3, povećanje 12,5 i 30 puta

Izvor: Vlastiti izvor

Slike 11, 12 i 13 prikazuju mikroskopske snimke tri promatrana uzorka, pri povećanju od 12,5 i 30 puta. Promatrane su hrapavije strane uzoraka jer glađu stranu nije bilo moguće izoštriti. Slika 11 prikazuje slike uzorka 1 na kojima su vidljiva vlakanca, na slici se ne vide nikakve rupice i šupljine te iz toga mogu zaključiti da se u uzorku nalaze određena punila. Slika 12 prikazuje slike uzorka 2 koji je rađen od recikliranih materijala, te se njegov sastav puno bolje vidi, bolje se vide i vlakaca koja su kraća nego na slikama uzorka 1. Slika 13 prikazuje slike uzorka 3 koje je isto kao i uzorak 2 izrađen od recikliranih materijala, samo što su njegova vlakanca gušća nego kod uzorka 2. Gustoća vlakanca i njihova debljina može utjecati na debljinu samog uzorka.

4.7.OTPORNOST NA KIDANJE

Ispitivanje otpornosti papira prema kidanju provodi se kako bi se utvrdila njegova snaga i izdržljivost pri podvrgavanju različitim naprezanjima. Ovaj test omogućuje procjenu koliko je papir otporan na kidanje pod određenim uvjetima, što je od velikog značaja za materijale koji se koriste za pakiranje proizvoda, uključujući papirne ambalažne vrećice.

Ispitivanje je provedeno samo na jednom toku vlakanca u papiru, jer je drugi tok bio prekratak.

Tablica 15. Rezultati ispitivanja otpornosti na kidanje, uzorak 1

| Uzorak 1 | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Broj uzorka | Prekidna sila F(kp) | Prekidno istežanje % |
| 1 | 5,9 | 0,8 |
| 2 | 5,5 | 0,8 |
| 3 | 5 | 1 |
| 4 | 5,3 | 0,6 |
| 5 | 4,9 | 0,8 |
| Srednja vrijednost | 5,4 | 0,86 |

Tablica 16. Rezultati ispitivanja otpornosti na kidanje, uzorak 2

| Uzorak 2 | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Broj uzorka | Prekidna sila F(kp) | Prekidno istežanje % |
| 1 | 3,4 | 1 |
| 2 | 2,4 | 1 |
| 3 | 3,5 | 0,9 |
| 4 | 2,4 | 1,2 |
| 5 | 3,4 | 0,8 |
| Srednja vrijednost | 3,02 | 0,98 |

Tablica 17. Rezultati ispitivanja otpornosti na kidanje, uzorak 3

| Uzorak 3 | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Broj uzorka | Prekidna sila F(kp) | Prekidno istežanje % |
| 1 | 2,2 | 1 |
| 2 | 1,9 | 0,9 |
| 3 | 2,6 | 1,9 |
| 4 | 2,2 | 1,4 |
| 5 | 2 | 1,2 |
| Srednja vrijednost | 2,18 | 1,28 |

Tablica 18. Prikaz srednjih vrijednosti svih uzoraka na otpornost na kidanje

| Otpornost na kidanje | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
| Prekidna sila F(kp) | 5,4 | 3,02 | 2,18 |
| Prekidno istezanje % | 0,86 | 0,98 | 1,28 |

Usporedbom srednjih vrijednosti koje su prikazane u Tablici 18 vidimo da najveću prekidnu silu ima uzorak 1 koja iznosi 5,4 kp, a najmanju uzorak 3 koja iznosi 2,18 kp. Iz ovih rezultata možemo zaključiti da najveću snagu i izdržljivost ima uzorak 1, a najmanju uzorak 3. Prekidno istezanje je najveće kod uzorka 3 i iznosi 1,28%, dok je najmanje kod uzorka 1 i iznosi 0,86%.

4.8. OTPORNOST NA DVOSTRUKO SAVIJANJE

Ispitivanje dvostrukog savijanja papira provodi se kako bi se utvrdila njegova sposobnost podnošenja ponavljajućih savijanja bez pucanja ili gubitka čvrstoće. Ova karakteristika je posebno važna za materijale koji se koriste u proizvodnji ambalaže, uključujući papirnate vrećice, budući da će ambalažni materijal biti podvrgnut raznim manipulacijama i savjetima tijekom uporabe.

Tablice 19, 20 i 21 prikazuju ukupno pet ispitivanja za A i B smjer toka vlaknaca, osim uzorka 1 i 3 kod kojih je B smjer toka vlaknaca bio prekratak za uzorkovanje.

Tablica 19. Rezultati ispitivanja dvostrukog savijanja, uzorak 1

| Uzorak 1 A smjer toka vlaknaca | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|
| 1291 | 1864 | 2103 | 2917 | 3879 |
| Srednja vrijednost = 2410,8 | | | | |

Tablica 20. Rezultati ispitivanja dvostrukog savijanja, uzorak 2

| Uzorak 2 | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| A smjer toka vlakanaca | | | | |
| 661 | 485 | 587 | 792 | 234 |
| Srednja vrijednost = 551,8 | | | | |
| B smjer toka vlakanaca | | | | |
| 86 | 51 | 186 | 142 | 80 |
| Srednja vrijednost = 109 | | | | |

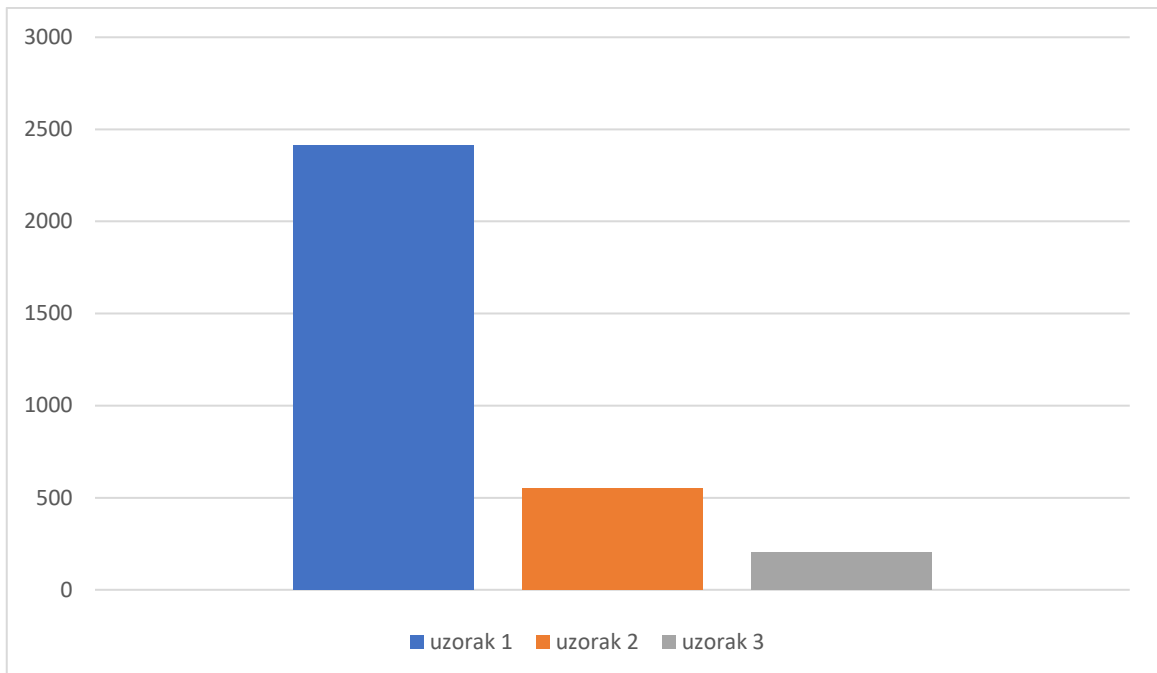
Tablica 21. Rezultati ispitivanja dvostrukog savijanja, uzorak 3

| Uzorak 3 A smjer toka vlakanaca | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|
| 264 | 158 | 334 | 105 | 152 |
| Srednja vrijednost = 202,6 | | | | |

Tablica 22. Prikaz srednjih vrijednosti svih uzoraka na otpornost na dvostruko savijanje

| Dvostruko savijanje A smjera toka vlakanaca | | |
|--|-----------------|-----------------|
| Uzorak 1 | Uzorak 2 | Uzorak 3 |
| 2410,8 | 551,8 | 202,6 |

Dijagram 4. . Prikaz srednjih vrijednosti svih uzoraka na otpornost na dvostruko savijanje



U Tablicama 19, 20 i 21 su prikazane vrijednosti dvostrukog broja savijanja uzoraka. Iz Tablice 22 i Dijagrama 4 vidljivo je da za A smjer toka vlakanaca najveći broj savijanja ima uzorak 1 koji iznosi 2410,8 savijanja , a najmanji uzorak 3 koji iznosi 202,6 savijanja . Ovo predstavlja činjenicu da uzorak 1 možemo u prosjeku saviti 2410 puta prije no što dođe do pucanja papira tj. pucanja vlakanca.

Obratimo li pažnju na sve rezultate vidimo da je uzorak 1 najkvalitetniji te da njegova primjena može biti u više industrija, uzorci 2 i 3 su malo manje kvalitetni od uzorka 1 ali i dalje ispunjavaju svoju ulogu i namjenu u prehrambenoj industriji pretežito u pekarama.

5.ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu detaljno smo istražili karakteristike materijala koji se koriste za izradu papirnatih ambalažnih vrećica i njihovu važnost u različitim industrijama. Glavni cilj ovog istraživanja bio je razumjeti kako odabrani materijali utječu na svojstva papirnatih vrećica i kako se ta svojstva mogu primijeniti u različitim industrijskim i potrošačkim kontekstima. Prvi dio ovog istraživanja usmjeren je na analizu osnovnih karakteristika papira koji se koristi za izradu ambalažnih vrećica, uključujući gramaturu, prostornu masu i specifični volumen. Ispitivanja su pokazala da ove karakteristike igraju ključnu ulogu u određivanju čvrstoće, trajnosti i praktičnosti papirnatih ambalažnih vrećica. Razumijevanje tih svojstava omogućuje proizvođaču da prilagodi svoje materijale kako bi ispunili specifične zahtjeve svojih klijenata. Drugi dio ovog istraživanja usmjeren je na mehanička svojstva papira, uključujući otpornost prema kidanju i broj dvostrukih savijanja. Ispitivanja su pokazala da odabrani materijali značajno utječu na ova svojstva i da se mogu prilagoditi ovisno o krajnjoj namjeni vrećice. Mikroskopiranje i određivanje glatkosti prema Bekku pružili su dublji uvid u strukturu papira i njegovu površinsku teksturu. Ova svojstva igraju ključnu ulogu u percepciji kvalitete vrećice i njihovoj sposobnosti da prihvate grafičke elemente.

Istraživanje je također obuhvatilo praktičnu primjenu materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica u različitim industrijama, uključujući prehrambenu industriju, maloprodaju i promociju proizvoda. U konačnici, ovaj rad naglašava važnost temeljitog razumijevanja karakteristika materijala za izradu papirnatih ambalažnih vrećica kako bi se postigla optimalna učinkovitost i zadovoljili zahtjevi klijenata. Daljnja istraživanja i razvoj materijala mogli bi doprinijeti unaprjeđenju ove vrste ambalaže i pomoći u stvaranju ekološki održivih rješenja za budućnost.

6.LITERATURA

- [1] Mark J.Kirwan, Paper and Paperboard Packaging Technology, Blackwell Publishing, London
- [2] Hrvatska enciklopedija. Papir. URL:
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=46541> (pristupljeno 11.6.2023.)
- [3] URL: <https://bakrotisak.hr/vrecice/> (pristupljeno 13.6.2023.)
- [4] Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, 1.laboratoriska vježba – opća svojstva papira : Debljina papira, kartona i ljepenke
- [5] Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, 1.laboratoriska vježba – opća svojstva papira : Određivanje prostorne mase
- [6] Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, 1.laboratoriska vježba – opća svojstva papira : Određivanje specifičnog volumena
- [7] Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, Glatkost i hrapavost površine papira
- [8] Đapić A. Papir i karton – tehnološki postupci i proizvodi
- [9] Nastavni materijali kolegija Papir (ak. god. 2021/2022); Doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević, 2.laboratoriska vježba - Mehanička ispitivanja papira: otpornost papira prema cijepanju, određivanje krutosti papira, otpornost papira prema prskanj
- [10] Gordon L. Robertson, Food Packaging: Principles and Practice, URL:
https://books.google.hr/books?id=BizOBQAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q=foos%20packaging&f=false (pristupljeno 18.8.2023.)
- [11] Katalog opreme. Zagreb: Grafički fakultet, URL: https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf (pristupljeno 1.9.2023)
- [12] Puhalović, T. (2023) *Opća i optička svojstva tiskovnih papira*. Završni rad. Zagreb: Grafički fakultet