

Površinska svojstva papirnog premaza na osnovi mikrokristalinične celuloze

Car, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

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:216:939582>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Ivana Car



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: tehničko - tehnološki

ZAVRŠNI RAD

POVRŠINSKA SVOJSTVA PAPIRNOG PREMAZA NA OSNOVI MIKROKRISTALINIČNE CELULOZE

Mentor:
Doc. Dr. sc. Sonja Jamnicki

Student:
Ivana Car

Zagreb, 2014

Rješenje o odobrenju teme završnog rada

ZAHVALE

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Sonji Jamnicki i prof. dr. sc. Branki Lozo na stručnoj pomoći i uloženom vremenu tijekom izrade ovog završnog rada.

Ivana Car

SAŽETAK

U ovom radu ispitana je površinska čvrstoća premaza na osnovi mikrokristalinične celuloze (MCC), odnosno njegova sklonost ka prašenju. Mikrokristalinična celuloza je celulozni materijal visokog stupnja kristaliničnosti koji je svoju primjenu našao u industriji papira te u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. To je fini, bijeli prah, bez okusa i mirisa. Ispitivanja su provođena na četiri različite vrste ambalažnih papira s velikim sadržajem recikliranih vlakana. Na površinu svake vrste papira nanijet je premaz definirane debljine sastavljen od mikrokristalinične celuloze, škroba i vode. Prije samog premazivanja odredila se glatkost korištenih papira metodom po Bekku. Premazivanje je izvršeno pomoću laboratorijskog uređaja za premazivanje - K 303 Control Coater. Nakon sušenja premaza na zraku izvršena su mjerenja gramature i debljine apliciranih premaza na svakoj vrsti papira, kao i mjerenja ISO svjetline premazanih i nepremazanih (referentnih) papira. Nakon toga je na svakoj vrsti papira ispitana sklonost ka prašenju površinskog premaza primjenom standardne IGT metode (*W33 IGT fluff test*). Rezultati ispitivanja površinske čvrstoće premaza rađeni su s ciljem utvrđivanja mogućnosti primjene ovakvog prirodnog premaza u izradi ambalažnog papira. Rezultati ispitivanja pokazali su da se primjenom navedenog laboratorijskog sustava premazivanja javljaju određene varijacije u debljini nanesenog sloja premaza na različitim vrstama papira, dok se istovremeno postižu približno jednake gramature premaza. Rezultati ispitivanja površinske čvrstoće premaza pokazali su kako ne postoji dobra povezanost čestica mikrokristalinične celuloze unutar sloja premaza što se odrazilo izrazito jakim prašenjem premazanog papira.

Ključne riječi: mikrokristalinična celuloza, reciklirani papir i karton, papirna i kartonska prehrambena ambalaža, površinska čvrstoća papira (prašina na papiru)

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Cilj rada.....	2
2.	TEORIJSKI DIO	3
2.1.	Papir i karton	3
2.2.	Reciklirani papir i karton	5
2.3.	Papirna i kartonska prehrambena ambalaža	9
2.4.	Pregled papirne i kartonske prehrambene ambalaže koja u svom sastavu sadrži reciklirana vlakanca	10
2.5.	Mikrokristalinična celuloza.....	14
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	17
3.1.	Plan rada i metodologija istraživanja	17
3.2.	Korišteni materijali.....	18
3.3.	Korištene metode i uređaji	21
3.3.1.	Stupanj glatkosti referentnog uzorka.....	21
3.3.2.	Analitička vaga za određivanje gramature papira	22
3.3.3.	Mikrometar za mjerenje debljine papira (premaza)	23
3.3.4.	Uređaj za mjerenje optičkih svojstava papira	24
3.3.5.	Određivanje površinske čvrstoće papira-stupanj prašenja (IGT prašina).....	25
4.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	30
4.1.	Rezultati određivanja glatkosti papira metodom po Bekku	30
4.2.	Određivanje debljine papira (premaza)	30
4.3.	Određivanje gramature papira (premaza).....	32
4.4.	Rezultati mjerenja ISO svjetline premazanih i referentnih papira	33
4.5.	Rezultati određivanja stupnja prašenja premaza na papiru	34
5.	DISKUSIJA REZULTATA	35
6.	ZAKLJUČAK	36

7.	LITERATURA.....	37
8.	POPIS SLIKA, TABLICA I DIJAGRAMA	39

1. UVOD

Grafička industrija je ponovno usmjerena prema korištenju prirodnih materijala, odnosno materijala na bio bazi, kao što je to bilo u ranim danima tiskarstva pa sve do 20. stoljeća. Početkom 20. stoljeća proizvodi na bazi nafte istisnuli su iz upotrebe materijale dobivene iz obnovljivih izvora. Danas je upotreba održivih rješenja u proizvodnji ambalaže postala nužnost budući da nova Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o otpadu (*Waste Framework Directive, WFD (2008/98/EC)*) osim što potiče sprečavanje nastanka otpada, nameće i ponovno korištenje ambalaže (*engl. re-use*), a u slučaju kada to nije moguće oporabu (*engl. recover, recycle*) korištenog materijala, kako bi se na taj način, smanjila količina otpada koju kao potrošači stvaramo [1,2].

Materijali na osnovi celuloze, poput papira i kartona, predstavljaju dobra rješenja u izradi održive prehrambene ambalaže, međutim, zbog svojih slabih barijernih svojstava rijetko se koriste sami. Najčešće ih se oplemenjuje različitim sintetskim premazima ili ih se laminira polimernim filmovima ili folijama. Nerijetko se u takvim ambalažnim sustavima nalaze i slojevi metalnih folija poput aluminija (primjerice ambalaža za pakiranje pića). Budući da je uporaba takvih višeslojnih materijala ponekad vrlo komplicirana, sve se više napora posvećuje izradi ambalaže od potpuno prirodnih sirovina koje imaju dobru mogućnost oporabe (recikliranja ili kompostiranja). Znanstvenici istražuju mogućnosti apliciranja bio-polimera na papirne i kartonske materijale umjesto konvencionalnih polimera porijeklom iz nafte. Sve se više koriste i premazi na bazi mikro (i nano) celuloze, poput mikrofibrilirane (MFC) ili mikrokristalinične (MCC) celuloze. Nano celulozni materijali kao i bio-kompozitni sustavi predmetom su pojačanog znanstvenog interesa u zadnjih desetak godina [3].

1.1. Cilj rada

Područje ovog istraživanja usmjereno je na ispitivanje površinskih svojstava papirnog premaza na osnovi mikrokristalinične celuloze (MCC). Za premazivanje odabrani su papiri s visokim sadržajem recikliranih vlaknaca. Reciklirani papiri premazivali su se MCC premazom kako bi se stvorila barijera prema štetnim migrantima iz recikliranog vlaknatog materijala s ciljem da se tako premazani papiri koriste kao ambalaža za pakiranje namirnica.

Budući da se danas kao barijere koje sprečavaju migraciju štetnih tvari u hranu najčešće koriste različiti polimerni materijali dobiveni iz nafte ili se pak koriste metali poput aluminijske, željeza je bila razviti potpuno prirodan barijerni premaz koji udovoljava suvremenim ekološkim standardima. U svrhu ovog istraživanja, kao osnova barijernog premaza odabrana je mikrokristalinična celuloza (MCC) koja se u kombinaciji s vodom i škrobom nanosila na četiri različite vrste recikliranog papira.

Ovaj rad je za svoj cilj imao istražiti površinsku čvrstoću apliciranog MCC premaza za što se koristila IGT metoda određivanja prašenja papira (*IGT W33: „Determination of loose and weakly bound paper particles (fluff testing)“*)

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Papir i karton

Proizvodnja papira se bazira na preradi sirovina različitog podrijetla, najčešće drveta i starog papira. Na taj način dobivaju se i različite kvalitete gotovog papira koje odgovaraju i osnovnoj namijeni pojedine vrste papira.

Osnovni sastojci za izradu papira i kartona su vlakna i dodaci. Vlakna mogu biti biljnog, životinjskog ili mineralnog porijekla, te sintetskog. Kao najvažniji dodaci pri izradi papira dodaju se punila, keljiva i bojila. Svaki od njih ima svoju ulogu koja utječe na kvalitetu gotovog papira [4].

Najvažniji sastojak biljnih vlakana za izradu papira je celuloza. Ona je glavni sastojak stijenki biljnih stanica, te je netoksična, bez okusa i mirisa [5].

Pod pojmom papir u širem smislu, obuhvaćeni su i materijali karton i ljepenka. Papir se općenito naziva kartonom kada njegova površinska masa (gramatura) premašuje 250 gm^{-2} .

Ljepenke su papirnati proizvodni veće debljine koji imaju površinsku masu u rasponu od $500\text{-}5000 \text{ gm}^{-2}$ [6].

Biljno vlakno sadrži i hemiceluloze, lignin, te u manje količine eteričnih ulja, smole i kaučuka. Osnovne vlaknate sirovine koje se koriste za izradu papira i čine oko 90% ukupne sirovine za izradu papira, su drvenjača, tehnička celuloza, polutvorina i poluceluloza.

Drvenjača – mehanička pulpa (*engl. mechanical pulp*)

Drvenjača se dobiva postupkom mehaničkog raščlanjivanja drveta (brušenjem), te ju je moguće prethodno kemijski i termički obraditi. Ovim postupkom prerade iz drvenjače se ne uklanja lignin. Lignin lako oksidira pri čemu postaje tamniji te utječe na promjenu tona boje papira, odnosno njegova prisutnost uzrokuje kratak period svjetlostalnosti papira. Oksidacijom lignina papir poprima žućkasto-smeđi ton, a sama vlakna postaju krta. Iz tog razloga vlakna drvenjače najčešće nalaze upotrebu pri izradi kartona i ljepenke.

Tehnička celuloza – kemijska pulpa (engl. chemical pulp)

Skraćeno se naziva samo celulozom, a dobivamo je preradom drva kojom se otapa lignin i hemiceluloza. Prerada celuloze obuhvaća postupak kuhanja koji može biti kiseo (sulfitan) ili lužnati (sulfatni). Iz ekoloških razloga lužnati (sulfatni) postupak se primjenjuje sve rjeđe. Postupak kuhanja provodi se pod pritiskom i na povišenoj temperaturi [7].

Kemijski izdvojenu pulpu odlikuje jaka povezanost između celuloznih vlaknaca. Vlakna se nakon kuhanja mogu podvrgnuti i bijeljenju (engl. *bleaching*) [8].

Tehnička celuloza predstavlja osnovnu sirovinu za dobivanje kvalitetnih, bijelih tiskovnih papira.

Polutvorina

Polutvorinu dobivamo preradom krpa, tj. otpada iz industrije tekstila. Takva tekstilna vlakna karakterizira veća čvrstoća i dužina vlakna, te se zbog tih svojstava koriste samo za izradu određenih vrsta papira kao što su novčanice, vrijednosni papiri te zemljopisne i pomorske karte, odnosno kod dokumenata od kojih se zahtijeva mehanička otpornost i čvrstoća [6].

Poluceluloza

Poluceluloza se dobiva blagom kemijskom obradom koja ne uklanja lignin iz vlakana, pa je poluceluloza po svojstvima slična tehničkoj celulozi, dok je po sastavu slična drvenjači. Kod procesa proizvodnje poluceluloze od slame dolazi do nastajanja kremične kiseline (SiO_2). Kremična kiselina daje kartonu ili valovitoj ljepenci tvrdoću, čvrstoću i žilavost [8].

2.2. Reciklirani papir i karton

Za izradu 1 tone papira potrebno je 2 tone drveta i 1500 litara vode. Recikliranjem starog papira taj se broj može znatno smanjiti. Stari papir je sirovina, koja se može reciklirati i do sedam puta. Recikliranje papira je najstariji postupak reciklaže. Uspoređujući s ostalim postupcima recikliranja u Hrvatskoj, sustav odvojenog skupljanja papira i kartona je najrazvijeniji i najbolje organiziran. Kao što je već prije spomenuto, recikliranjem papira ne samo što se smanjuje potreba za sječom drveća nego se i smanjuje količina utrošene energije potrebne za dobivanje papira [9].

Recikliranjem papira ostvarujemo sljedeće prednosti:

- 65% manje energije
- 50% manje vode
- 74% manje zagađuje zrak
- Zamjenjuje 17 stabala [10]

Svaki puta kada se papir reciklira vlakna postaju slabija i kraća, tako da se nova celuloza mora miješati sa korištenim papirom da bi se dobila čvrstoća. Zbog oslabljivanja papir se može reciklirati optimalno od četiri do šest puta. Industrijsko recikliranje otpadnog papira obuhvaća više postupaka od kojih su najvažniji prikupljanje i sortiranje starog papira, razvlaknjivanje, grubo prosijavanje, odbojavanje (deinking flotacija), čišćenje, fino prosijavanje, ispiranje, te eventualno ugušćivanje i konzerviranje [9].

Glavne faze u postupku recikliranja obuhvaćaju:

Prikupljanje starog papira i transport

Otpadni papir se sortira po klasama (razredima) te se zbija u bale, pa se takav transportira u tvornice papira.

Razvlaknjivanje (engl. pulping)

Kad jednom stigne u tvornicu papira, stari papir se najprije podvrgava razvlaknjivanju. Razvlaknjivanjem se iz isprepletene papirne tvorevine izdvajaju pojedinačna vlakanca kao i tvari koje su na papir dodani tijekom tiska i prerade. Proces se odvija u pulperima gdje se papirna masa miješa s vodom i kemikalijama. Rotacijom propelera uz utjecaj kemikalija papirna vlakanca se razdvajaju. Istim procesom se tiskarska boja odvoji od vlakanaca u obliku sitnih čestica.

Uklanjanje nečistoća

Nečistoćama u sekundarnoj sirovini smatramo sve materijale koji nisu celulozna vlakanca. Način uklanjanja nečistoća ovisi o svojstvima tih tvari, njihovoj vrsti i veličini njihovih čestica. Čestice koje su manje od vlakanaca uspješno se uklanjaju ispiranjem (*engl. washing*), dok se čestice veće od vlakanaca, ukoliko su dovoljno krute, uspješno uklanjaju prosijavanjem (*engl. screening*). Nadalje, metodom flotacije uspješno se uklanjaju hidrofobne čestice. Za taj se proces uglavnom rabe sintetske površinski aktivne tvari ili sapuni koji imaju funkciju prikupljanja i aglomeriranja hidrofobnih čestica tiskarskih boja čime se pospješuje flotacija. Svaka od ovih tehnika uspješna je u uklanjanju nečistoća u definiranom rasponu veličina čestica.

Prosijavanje

Prosijavanje se vrši prolaskom pulpe kroz sita definiranih promjera otvora. Prilikom toga se nečistoće zadržavaju na situ a vlakanca slobodno prolaze kroz otvore. Danas se prosijavanje provodi pod pritiskom kako bi se izbjeglo začepeljivanje otvora sita. Time se iz suspenzije vlakanaca uspješno uklanjaju veće nečistoće.

Centrifugalno čišćenje

Centrifugalno čišćenje je postupak pročišćavanja pri kojem se iz pulpe uklanjaju onečišćenja kao što su smole, čestice gume, polimerni materijali, pijesak, ljepila i boje. Postupak je temeljen na odvajanju čestica u centrifugalnom polju na način da se pulpa razrijedi vodom, te tako dobivena celulozna kaša rotira unutar cilindričnih pročištača. Uslijed vrtložnog gibanja čestice veće specifične mase od celuloznih vlakanaca kreću se prema vanjskim rubovima cilindra. Na taj način se odstranjuju iz suspenzije.

Frakcioniranje

Ovom metodom suspenzija vlaknaca se pomoću uporabe sita odjeljuje u dva ili više zasebnih frakcija na temelju različitih karakteristika vlaknaca. Frakcioniranjem je omogućeno daljnje selektivno pročišćavanje suspenzije. Postupak je od osobitog značaja u slučajevima kada su onečišćenja čestice različitog reda veličina. Frakcioniranjem je omogućeno odvajanje vlaknatog toka na frakcije s dugim i s kratkim vlakancima [6].

Flotacija

Deinking flotacija je metoda uklanjanja nečistoća koja se primjenjuje u izradi određenih vrsta papira kao što su tiskovni papiri (npr. novinski ili magazinski), pisači ili higijenski, međutim rijeđe se koristi u izradi ambalažnih klasa papira i kartona [11].

Postupak flotacije se odvija u flotacijskoj ćeliji, u kojoj se hidrofobne čestice tiskarske boje ili tonera uklanjaju pomoću zraka koji se uvodi na dnu ćelije. Prolaskom zračnih mjehurića kroz celuloznu suspenziju, oni dolaze u dodir s dispergiranim česticama nečistoća koje se za njih prihvaćaju, te se na površini se stvara pjena. S pjenom se prvenstveno uklanjaju čestice tiskarskih boja ili tonera ali i manji dio celuloznih vlaknaca [12].

Pri postupku deinking flotacije u celuloznu suspenziju se dodaju flotacijske kemikalije kako bi se povećala hidrofobnost čestica boje i time pospješila flotacija.

peroksid, natrijev silikat, kelatni agensi i kolektori. Natrijev hidroksid daje pulpi alkalni karakter, dok se vodikov peroksid koristi za bijeljenje i prevenciju tamnjenja pulpe. Natrijev silikat ili vodeno staklo koristi se kao sredstvo za vlaženje čija je glavna uloga smanjenje površinske napetosti. Sredstva za keliranje vežu ione teških metala te sprječavaju razgradnju vodikovog peroksida i vodikovog sulfida, te smanjuju potrebne količine natrijevog silikata u procesu. Također, kao dodaci se koriste i površinski aktivne tvari. Deinking flotacija se razvila uz korištenje sapuna, odnosno alkalnih soli masnih kiselina. Za propisno funkcioniranje flotacije potrebno je stvaranje pjene. Osim sapuna mogu se koristiti masne kiseline, sintetski i polusintetski kolektori. Pravilnim omjerom dodanih kemikalija može se utjecati na učinkovitost procesa, a količina svake dodane kemikalije ovisi o prirodi i porijeklu celuloznih vlaknaca koja se podvrgavaju postupku reciklacije.

Ispiranje

Ispiranje je postupak kojim se iz celulozne suspenzije uklanjaju čestice boje, punila i ostale sitne nečistoće pomoću strujanja vode. Pri ovom postupku na situ zaostaju vlakanca dok nečistoće prolaze kroz otvore definiranih dimenzija. Učinkovitost ispiranja je najveća je za čestice reda veličine od 5 do 15 μm . Izdvojene čestice iz dobivenog filtrata uklanjaju se koagulacijom uz uporabu polimera [6].

2.3. Papirna i kartonska prehrambena ambalaža

Već u 17. st. započinje značajnije korištenje papira i kartona u svrhu pakiranja prehrambenih proizvoda, a od druge polovice 19. st. primijećen je bitan porast korištenja papira i kartona u proizvodnji prehrambene ambalaže. I danas se papirni i kartonski materijali koriste u prehrambenoj industriji za izradu sigurne i funkcionalne ambalaže za pakiranje namirnica.

Kao materijali, papir i karton zadovoljavaju kriterije koji se od prehrambene ambalaže očekuju. Zbog njihove funkcionalnosti i dobrog izgleda moguće ih je preraditi u raznovrsne tipove ambalažnih proizvoda na vrlo ekonomičan način. Papire i kartone vrlo je jednostavno tiskati, mogu se lakirati, a može ih se i laminirati s drugim materijalima. Posjeduju fizikalna svojstva koja im omogućuju da se od njih načine fleksibilni, polukruti i kruti materijali. Rabe se u širokom temperaturnom rasponu, jer mogu podnijeti vrlo niske temperature (duboko zamrzavanje) kao i vrlo visoke (temperature vrenja vode kao i temperature zagrijavanja u mikrovalnim pećnicama). Neoplemenjeni papiri i kartoni su propusni na vodu, vodenu paru, vodene otopine i emulzije, organska otapala, masnoće, plinove kao što su kisik, ugljik dioksid i dušik, agresivna kemijska sredstva te hlapive plinove i arome. Ta propusnost je posljedica slabih barijernih svojstava neoplemenjenih, čistih papira i kartona. Da bi papir ili karton učiniti nepropusnim barijerama moramo ga premazati, laminirati ili impregnirati različitim polimernim materijalima, te im na taj način poboljšati funkcionalna svojstva kao što su otpornost na toplinu, masnoće itd. Papiri se presvlače (ekstruzijsko premazivanje) polietilenom (PE), polipropilenom (PP) ili polietilen tetraftalatom (PET), laminiraju s polimernim filmovima ili aluminijskom folijom, ili tretiraju voskom, silikonima i fluorougljicima. Dakle, papir koji nije dodatno obrađen ili oplemenjen premazima posjeduje slabija barijerna svojstva, te se kao takav uglavnom se ne koristi za čuvanje hrane kroz duže vremensko razdoblje [6].

Primarna ambalaža je ambalaža koja se nalazi u izravnom kontaktu s namirnicom. Kada se papir koristi kao primarna ambalaža gotovo je uvijek oplemenjen različitim premazima, impregniran voskovima, smolama ili lakovima ili se nalazi laminiran s drugim materijalima kako bi mu se poboljšala zaštitna i funkcionalna svojstva [13].

2.4. Pregled papirne i kartonske prehrambene ambalaže koja u svom sastavu sadrži reciklirana vlakanca

Reciklirana vlakanca najveću primjenu imaju u proizvodnji različitih kutija i valovitih kartona koji se koriste kao direktna ili indirektna prehrambena ambalaža.

Složive kartonske kutije (engl. folding boxboard)

Složive kartonske kutije koriste se za pakiranje prehrambenih namirnica (suhe i smrznute hrane). Također se koriste i kao ambalaža za pakiranje kozmetike, cigareta te lijekova i sličnih proizvoda. Složive kartonske kutije izrađuju se iz polukartona i kartona (150 do 450 g/m²). Tipična složiva kutija sadrži tri do četiri sloja kartona. Srednji slojevi kartona su izrađeni od drvenjače, a mogu sadržavati i reciklirana vlakanca. Vanjski slojevi izrađeni su od izbjeljene celuloze. Gornji sloj kartona obično se površinski oslojavaju mat ili sjajnim premazom.

Kromokarton (engl. white lined chipboard)

Kromokarton se koristi za proizvodnju raznovrsnih tipova kutija za pakiranje hrane. Sastavljen je iz više slojeva različitih svojstava. Gornji sloj se najčešće izrađuje od bijeljene celuloze, dok se između gornjeg i srednjeg sloja kartona nalazi još jedan dodatni sloj – podsloj (*engl. undertop ply*) za čiju se izradu iskorištavaju flotirana vlakanca. Taj sloj se dodaje radi uštede na skupom gornjem sloju od bijeljene celuloze te kako bi se prekrio srednji sloj kartona kojeg karakterizira slaba svjetlina. Gornji sloj sadrži još i sjajni pigmentni premaz. Za srednji sloj se koriste uglavnom reciklirana vlakanca potekla od miješanog starog papira, starih novina te starog valovitog kartona, a može sadržavati i drvenjaču. Tipični donji sloj sastoji se ili od flotirane pulpe ili od bijeljene celuloze. Srednji slojevi kromokartona izrađuju se u različitim udjelima reciklirane sirovine, te se zbog toga uporaba ovakvih kartona često mora izbjegavati u direktnom kontaktu s namirnicama kao što su cerealije ili čokolada [14].

Uglavnom se proizvodi u gramaturama od 200-400 g/m². Kromokarton se upotrebljava za luksuznu ambalažu u prehrambenoj industriji.

Ambalaža od valovitog kartona (engl. corrugated boxboard, containerboard)

Valoviti karton sastavljen je od naizmjenično slijepljenih ravnih i valovitih slojeva papira ili kartona. Ravni slojevi često se nazivaju lineri od *engl. linerboard* (kraftliner, testliner).

Papir za izradu vala poznatiji je pod imenom fluting ili šrenc. Postoji više vrsta valovitog kartona. Za uporabu se koriste papiri od čiste celuloze te celuloze miješane s drvenjačom i recikliranim vlakancima. Za lijepljenje valova s ravnim slojevima upotrebljavaju se ljepila na bazi mineralnog ili biljnog porijekla, te sve više kvalitetna sintetska ljepila. Valoviti karton koji se upotrebljava za izradu ambalaže u prehrambenoj industriji ne smije biti lijepljen silikatnim već škrobnim ljepilima [15,16].

Ravni karton (liner)

Upotreba ravnog kartona kao ravnog sloja u izradi ambalaže od valovitog kartona najčešće se pojavljuje u gramaturama od 125-350 g/m². Uglavnom su to papiri/kartoni izrađeni od dva sloja. Gornji sloj čini pokrov (*engl. top ply*), a donji bazu kartona (*engl. base ply*). Uglavnom se gornji i bazni slojevi papira/kartona proizvode u omjeru 30:70. Za proizvodnju linera rabe se primarna i sekundarna (reciklirana) vlakanca.

Ravni karton (*liner*) izrađen isključivo od primarnih vlakanaca naziva se *kraftliner*, dok se liner izgrađen isključivo od recikliranih vlakanaca naziva *testliner* [14].

Testliner

Izrađen je od različitih vlakanaca na bazi starog papira. Pokrovni sloj testlinera sadrži kvalitetniju vlaknatu tvar od baznog sloja. Postoje tri vrste testlinera (TL1, TL2, TL3), a razlikuju se po kvaliteti recikliranih vlakanaca koji se koriste u njihovoj proizvodnji. Testlineri TL1 i TL2 u svojoj strukturi sadrže veliki udio dugih recikliranih vlakanaca. Testliner TL3 sastavljen je od najlošijih kratkih vlakanaca.

Smeđi testliner (vrsta testlinera)

Smeđi testliner sastavljen je od gornjeg i baznog sloja koje izgrađuje nebijeljena vlaknata sirovina.

Bijeli testliner

Koristi se za oblikovanje ambalaže koja će se grafički obrađivati (tiskati), te je iz tog razloga važno da pokrov ima zadovoljavajuću glatkost i dobra vizualna svojstva, odnosno zadovoljavajući stupanj bjeline. Kao gornji sloj koristi se bijeljena celuloza. U nju se često dodaju punila radi povećanja stupnja bjeline i neprozirnosti. Bazni sloj čine nebijeljena celuloza i škart iz proizvodnje papira. Zbog toga što se u izradi testlinera najčešće koriste reciklirana vlakanaca porijeklom od miješanog starog papira i kartona, četveroslojna struktura papira/kartona sve se više koristi od klasične dvoslojne. Korištenjem četiri sloja papira testlineru se mogu bitno poboljšati mehanička i funkcionalna svojstva. Gornji sloj je uglavnom sastavljen iz bijeljene ili nebijeljene celuloze i vlakanaca koja potječu od starih valovitih ljepenki. Podsloj je izrađen od recikliranih valovitih ljepenki, flotirane pulpe i flotiranog uredskog papira. Srednji ili bazni sloj linera sastavljen je od kombinacije miješanog starog papira i starih valovitih ljepenki. Ispod baznog sloja nalazi se još jedan tanki sloj sastavljen od recikliranih vlakanaca porijeklom iz starih valovitih ljepenki.

Fluting

Koristi se kao papir za val u proizvodnji valovitog kartona, te su na tržištu dostupne uglavnom dvije klase fluting papira. Prvu klasu čine nebijeljeni polucelulozni papiri od bjelogoričnog drveta s udjelom primarnih vlakanaca od oko 60 % (fluting od poluceluloze).

Druga klasa fluting papira izrađena je od 100% recikliranih vlakanaca - reciklirani fluting. Stare otisnute knjige, novinski papiri i slični grafički proizvodi uglavnom su izvor kratkih sekundarnih vlakanaca. Jedan od izvora dugih vlakanaca su primjerice stare kutije od valovitog kartona. Fluting se proizvodi u gramaturama od 112 - 180 g/m² [6].

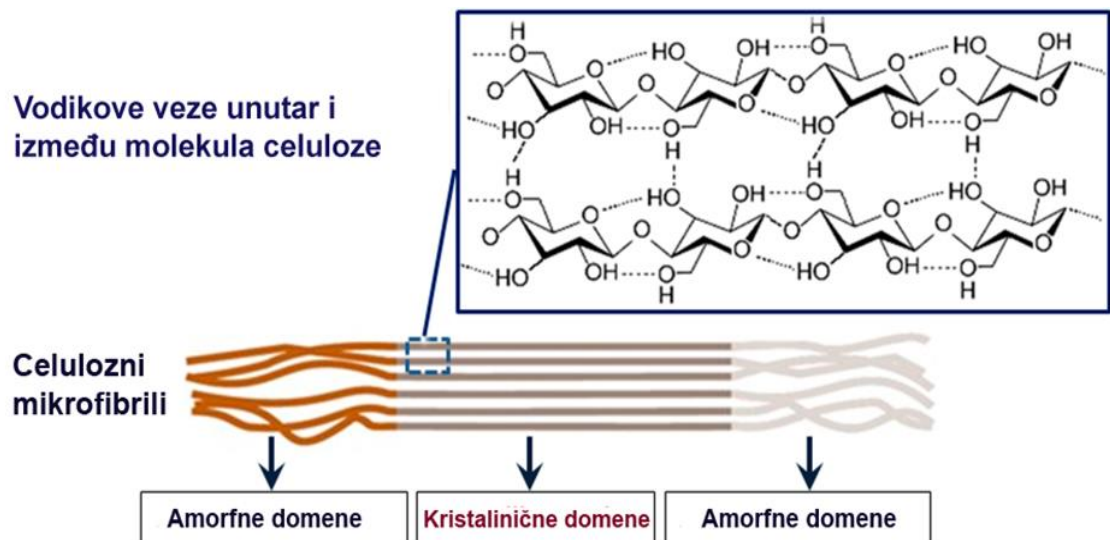
Šrenc

Šrenc je papir koji se proizvodi od nesortiranog starog papira. U nesortirane stare papire spadaju tiskovni papiri, sivi karton, kartonski omoti i sl. Šrenc se može koristiti za izradu valova ili kao ravni sloj valovitog kartona. Karakteriziraju ga loša mehanička svojstva, no uz dodatak sulfatne celuloze dolazi do poboljšavanja mehaničkih svojstava. Proizvodi se u gramaturama od 90 - 230 g/m² [15].

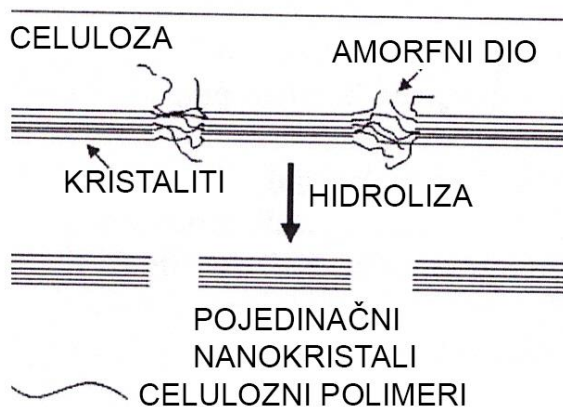
2.5. Mikrokristalinična celuloza

Mikrokristaliničnu celulozu (MCC) čine mikro i nano čestice na bazi celuloze koji se mogu izdvojiti hidrolizom iz raznih prirodnih izvornih materijala (drveća, jednogodišnjih biljaka, plaštenjaka, algi i bakterija).

Celuloza biljnog porijekla jedan je od najraširenijih prirodnih polimera na zemlji. Unutar stijenki biljnog vlakna, otprilike 36 pojedinačnih lanaca (nizova) molekula celuloze vezane su međusobno putem vodikovih veza i tvore tzv. elementarne fibrile, koji su opet pakirani u veće nakupine –mikrofibrile. Mikrofibрили obično imaju promjer 5-50 nm, a mogu biti dugi i do nekoliko mikrometara. Mikrofibрили su građeni od naizmjenično ponavljajućih amorfni (neuređenih) regija i kristaliničnih regija visokog stupnja uređenosti (slika 1) [18]. U kristaliničnim regijama celulozni lanci usko su pakirani putem mreže vrlo jakih unutarnjih i međumolekularnih vodikovih veza, dok su amorfne domene u pravilnim razmacima raspoređene duž mikrofibрила [18]. Kada se drvena vlakanca lignina i celuloze izlože čistom mehaničkom smicanju te kombinaciji kemijske, mehaničke i enzimatske obrade, amorfni dijelovi celuloznih mikrofibрила se selektivno hidroliziraju iz razloga što se lakše razgrađuju od kristaliničnih dijelova. Takvi mikrofibрили raspadaju se na manje dijelove s velikim stupnjem kristaliničnosti (slika 2) [19] koji se još nazivaju nanokristali (*engl. nanocrystals - CNC*), a u raznoj literaturi i mikrokristali (*engl. microcrystals*), nanočestice (*engl. nanoparicles*), nanovlakna (*engl. nanofibers*), nanofibрили (*engl. nanofibrils*) te mikrokristalinična celuloza (*engl microcrystalline cellulose - MCC*). U ovom radu koristi se izraz mikrokristalinična celuloza.



Slika 1. Građa celuloze



Slika 2. Shematski prikaz hidrolize celuloze i stvaranja nanokristala

Mikrokristalinična celuloza je, dakle, kristalni dio celuloze. Kristalno područje vrlo je iskoristivo i mnogo stabilnije na postupak kisele hidrolize, u usporedbi sa svojim amorfnim dijelovima. Celulozni mikrokristali su uspješno dodani u širok raspon od prirodnih do sintetičkih polimera i pokazali su da mogu izmijeniti kompozitna svojstva polimera (mehanička, optička, toplinska, granična). Uz to, oni su posebno atraktivne mikročestice jer imaju nizak utjecaj na okoliš, ne predstavljaju zdravstvene rizike, obnovljivi su, održivi, ne doprinose stvaranju stakleničkih plinova kao ni materijal od kojeg su dobiveni, te imaju potencijal za preradu u industrijskim količinama pri niskim cijenama [20]. Sposobnost mikrokristalinične celuloze da se primjenjuje kao premaz u

svrhu stvaranja funkcionalne barijere iskorištena je u ovom istraživanju. Površinska čvrstoća papira (prašenje papira).

Prašenje papira je pojava oslobađanja sitnih čestica s površine papira u toku njegove prerade. Radi se uglavnom o prekratkim i nedovoljno isprepletenim vlakancima ili česticama punila koje nisu dovoljno vezane za sam list ili su vezane samo djelovanjem statičkog elektriciteta. Prašenju uglavnom naginju strojno glatki papiri koji nisu keljeni. Prašenje je izraženije kod papira koji su sastavljeni od jako kratkih vlakana te koji sadrže veću količinu punila.

Premazani papiri, kao što su kromo papiri i papiri za umjetnički tisak, također su podložni prašenju ukoliko anorganske čestice premaza nisu dovoljno vezane s podlogom. Pojava prašenja može se izbjeći uporabom određenih pigmenata pri izradi i dodatnim povećanjem keljiva (škroba i slično), čime se postiže veća povezanost. Prašina se pojavljuje također i u papira koji su nestručno obrezani u koture ili arke, odnosno ako je rezanje obavljeno na strojevima s tupim noževima. Ova prašina obično nije rasprostranjena po čitavoj površini lista, nego se nalazi na rubovima. Da bi se izbjegli zastoji, mogu se papiri prethodno ispitati nekim aparatima i metodama [8].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Plan rada i metodologija istraživanja

Unutar ovog rada ispitana je površinska čvrstoća premaza na osnovi mikrokristalinične celuloze, odnosno njegova sklonost ka prašenju. Na četiri vrste ambalažnih papira s velikim sadržajem recikliranih vlaknaca nanosio se sloj premaza definirane debljine sastavljen od mikrokristalinične celuloze, škroba i vode. Prije samog premazivanja odredila se glatkost korištenih papira metodom po Bekku.

Premazivanje je izvršeno pomoću laboratorijskog uređaja za premazivanje koji radi na principu kotrljanja metale šipke oko koje je navijena metalna žica čiji utori definiraju debljinu nanosa površinskog premaza.

Nakon sušenja premaza na zraku i kondicioniranja premazanih uzoraka papira u standardnim klimatskim uvjetima ($50\pm 2\%$ relativne vlažnosti zraka, $23\pm 1^\circ\text{C}$), izvršena su mjerenja gramature i debljine apliciranih premaza na svakoj vrsti papira.

Također su izvršena mjerenja ISO svjetline premazanih i nepremazanih (referentnih) papira.

Potom se na svakoj vrsti papira ispitala sklonost ka prašenju (oslobađanja sitnih čestica premaza s površine papira) primjenom standardizirane IGT metode (*W33 IGT fluff test*). Rezultati su vizualno uspoređeni s IGT kontaminacijskom skalom te je donesen zaključak.

3.2. Korišteni materijali

Za premazivanje odabrane su četiri reprezentativne vrste ambalažnih papira s visokim udjelom recikliranih vlakana. Prije nanošenja premaza, bila su utvrđena svojstva recikliranih papirnih materijala odabranih za ovo testiranje. U tablici 1. prikazana su svojstva korištenih papira (gramatura, debljina, specifični volumen).

Tablica 1. Svojstva korištenih papira

VRSTA PAPIRA	SASTAV (kvaliteta)	Gramatura $\frac{g}{m^2}$	Debljina μm	Specifični volumen $\frac{cm^3}{g}$
ŠRENC	100 % recikliran papir, nekeljeni, strojno glačan	100,9	181,4	1,8
FLUTING	100 % reciklirani papir aditiv: škrob	119,3	189,0	1,6
HZ FLUTING	Polukemijska celuloza bukve i breze proizvedena polukemijskim neutralno sulfitnim postupkom (NSSC): 65 % reciklirana papirna pulpa: 35 %	126,6	200,5	1,6
TESTLINER	Gornji liner: 100 % reciklirana pulpa Donji liner: 100 % reciklirana pulpa, površinski keljen, strojno glačan	176,1	275,5	1,6

Priprema premaza(sastav)-pripravak za oblaganje

Za izradu premaza sastavljenog iz mikrokristalinične celuloze, korištena je mikrokristalinična celuloza proizvođača JRS Pharma GmbH i KG (mikrokristalinična celuloza, CAS broj 9004-34-6.). Premaz je pripremljen u obliku suspenzije mikrofibriila koja se sastoji od pomiješane mikrokristalinične celuloze, vode i škroba.

Priprema škroba

Pri pripremi škroba, 133 g škrobnog praha odvažuje se u čaši na analitičkoj vagi. Nakon toga napuni se s destiliranom vodom do mase od 400 g i pomiješa metalnom miješalicom u svrhu nastajanja homogene smjese. Posuda u kojoj se nalazi smjesa zajedno sa sidrenom miješalicom i poklopcem, stavi se u vruću (približno 96 C°) kupelj te se brzina miješanja podesi na 250 okretaja u minuti. Nakon 30 minuta kuhanja škrob se potpuno otopi te postane homogena pasta.

Priprema premaza

Dodavanjem 239,6 g mikrokristalinične celuloze u 674,7 g vode s dodatkom 143,8 g škroba priprema premaza je završena. Nakon toga suspenzija se nekoliko minuta miješa s metalnom miješalicom (slika 3), kako bi nastala homogena smjesa.



Slika 3. Miješanje MCC smijese



Slika 4. Pripremljena MCC smjesa

Premaz je nanesen na površinu papira upotrebljavajući laboratorijski sistem premazivanja-K 303 Control Coater (proizvođača RK Print-Coat Instruments). Nanošenje premaza se odvija u jednom smjeru koristeći metalnu šipku oko koje je namotana metalna žica (različita debljina namotane metalne žice i gustoća namatanja izražena je različitim brojevima šipki (tzv. K bars)) u svrhu apliciranja željene debljine premaza.



Slika 5. Doziranje premaza pipetom



Slika 6. Premazivanje metalnim štapom

U ovom istraživanju korištena je šipka br. 150 (šipka otvorenog navoja) kako bi se aplicirao sloj filma mikrofibrilne suspenzije od približno 175 mikrometara debljine (u suhom stanju). Premaz je kasnije osušen na sobnoj temperaturi.

Tablica 2. Sastav MCC premaza

Sastavnica	Početna masa (g)	Maseni udio w/%	Ukupni sadržaj suhe tvari (%)
Mikrokristalinična celuloza	239,58	22,64%	96
Škrob	143,75	13,59%	24
Voda	674,67	63,77%	-
Ukupno	1058,00	100,00%	-

Nakon premazivanja ispitana su svojstva premazanih papira, određena je debljina premaza na svakoj vrsti papira, gramatura, stupanj ISO-svjetline, te površinska čvrstoća premaza (IGT test prašine).

3.3. Korištene metode i uređaji

3.3.1. Stupanj glatkosti referentnog uzorka

Prije izrade premaza na odabranim uzorcima papira određen je stupanj glatkosti po metodi Bekk. Ispitivanje je izvršeno u uređaju PTI-Line Bekk (slika 7). Ovom metodom se glatkost određivala samo s one strane papira koju smo prethodno odabrali za premazivanje (gornja strana). Ispitivanje se vrši na 20 uzoraka prethodno klimatiziranih u standardnim uvjetima, minimalne dimenzije 50x50 mm s gornje strane. Gornja strana uzorka postavljena je na staklenu pločicu. Ovom metodom mjeri se prolaz zraka između glatke staklene pločice i površine papira (*Tappi Standard T479*). Pritiskom na tipku start na zaslonu uređaja, na uzorak se spušta mjerna glava i pritišće ga težinom od 10 kg. Zatim se pomoću vakumskih pumpi isprazni spremnik za zrak do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Uređaj počinje mjeriti vrijeme u sekundama, sve dok tlak ne padne na 48.0 kPa, odnosno dok se ne usisa preostali zrak između površine papira i staklene pločice kroz mali otvor u središtu. Svi rezultati prikazuju se na zaslonu uređaja koji sadrži integrirano računalo.



Slika 7. Uređaj PTI-Line Bekk

3.3.2. Analitička vaga za određivanje gramature papira

Gramatura premaza određena je iz razlike gramatura premazanog i referentnog (nepremazanog) uzorka papira.

Na preciznoj analitičkoj vazi (Slika 8) vagani su uzorci površine 100 cm² u kontroliranim uvjetima sukladno standardu ISO 536:2012. Prema definiciji površinska masa, odnosno gramatura papira je masa 1 m² papira izražena u gramima. Ispitivanje je provedeno na 20 uzoraka za svaku vrstu papira koji su rezani preciznim nožem (giljotinom) na dimenzije 10 x 10 cm. Gramatura uzorka izračunava se iz odnosa odvagane mase uzorka i njegove površine prema formuli:

$$x = \frac{m}{A} \cdot 10000 \quad (4)$$

gdje je:

x = gramatura papira u g/m²

m = masa uzorka u g

A = površina uzorka u cm²



Slika 8. Analitička vaga

3.3.3. Mikrometar za mjerenje debljine papira (premaza)

U radu je ispitana debljina premazanih uzoraka papira kao i debljina papira bez premaza (referentnih uzoraka). Konačna debljina premaza dobivena je oduzimanjem debljine referentnih papira od debljine premazanih uzoraka.

Mjerenje debljine provedeno je na uzorcima površine 100 cm² prema standardu ISO 534:2001 (*Paper and board - Determination of thickness, density and specific volume*). Za ispitivanje debljine premaza korišten je precizni mikrometar koji je prikazan na Slika 9.



Slika 9. Mikrometar za mjerenje debljine papira

Nakon kalibracije mikrometra ispitivanje je provedeno na 20 uzoraka papira u klimatiziranoj prostoriji vodeći računa da je uvijek riječ o istoj strani papira. Konačna debljina premaza dobivena je računskim putem preko aritmetičke sredine svih 20 mjerenja. Debljina premaza izražena je u mikrometrima (μm).

3.3.4. Uređaj za mjerenje optičkih svojstava papira

Na premazanim uzorcima, kao i na referentnim papirima, određen je stupanj ISO svjetline prema standardu HRN ISO 2470. Svjetlina se mjerila sa spektrofotometrom Colour Touch 2 (Slika Stupanj svjetline određen je mjerenjem stupnja refleksije difuznog plavog svjetla ($\lambda=457$ nm) s površine premazanog uzorka papira, odnosno snopa premazanih papira, kako bi se smanjila mogućnost probijanja svjetlosti od podloge uređaja koja bi negativno utjecala na točnost rezultata. U procesu mjerenja za osvjetljenje je korišten illuminant D65 koji osim vidljivog dijela spektra također sadrži i UV komponentu svjetlosti, pa dobiveni rezultati korespondiraju s vizualnim dojmom bijelih papira promatranih pri vanjskom dnevnom svjetlu. Mjerenje je izvršeno na 10 uzoraka svake klase papira s one strane papira koja je bila odabrana za premazivanje kao i na 10 uzoraka svake vrste premazanih papira (sa strane premaza).



Slika 10. Uređaj za mjerenje svjetline papira Colour Touch 2

3.3.5. Određivanje površinske čvrstoće papira-stupanj prašenja (IGT prašina)

Prije početka eksperimenta crnu IGT boju i viskozno ulje razribavamo na odvojenim agregatima IGT uređaja za razribavanje (Slika 11). Prije početka rada valjci oba agregata moraju biti temeljito očišćeni, odnosno na njima se ne smiju nalaziti nikakve nečistoće niti prašina. Na jedan valjak uređaja nanese se određena količina boje, a na drugi određena količina ulja. Ulje i boja se precizno doziraju pipetom (Slika 12).



Slika 11. IGT Uređaj za razribavanje

Pipetom, dakle, doziramo $0,15 \text{ cm}^3$ crne boje na valjke za razribavanje boje, dok se na valjke za razribavanje ulja nanosi $0,04 \text{ cm}^3$ ulja srednje viskoznosti. Nanesena količina ulja i boje dovoljna nam je za ispitivanje dvije serije uzoraka. Nakon dva otisnuta otiska pipetom se mora dodati još $0,01 \text{ cm}^3$ ulja i $0,02 \text{ cm}^3$ boje. Boja i ulje se razribavaju minimalno dva puta po 4 minute, (nakon 4 minute razribavanja gumeni valjak koji povezuje dva aluminijska valjka uređaja za razribavanje, okreće se za 180 stupnjeva te se razribavanje nastavlja za sljedeće 4 minute).



Slika 12. Pipete za doziranje precizne količine boje i ulja

Za određivanje prašine na premazanom papiru korišten je uređaj IGT FLUFF TESTER sukladno IGT metodi W33. Ispitivanje se provodi na sljedeći način: jedna čelična tiskovna forma u obliku valjka premazuje se tankim slojem standardiziranog ulja (ulje za pokuse čupanja srednje viskoznosti) i time postaje ljepljiva. Nakon toga se čelična tiskovna forma oslojena uljem namjesti na držak (Slika 13). Valjak prolazi preko cijele površine papira, izbjegavajući pri tome rubove papira u širini od otprilike 2 cm. Čeličnom tiskovnom formom prelazimo preko površine premazanog papira u 15 punih okretaja. Time se na formu priljepljuju sve nedovoljno vezane čestice premaza.



*Slika 13. IGT uređaj za određivanje stupnja prašenja premaza
(prikupljanje nedovoljno vezanih čestica s površine premaza)*

Zatim se na čeličnu formu u jednom okretaju nanese tiskarska boja (Slika 14). To se izvodi tako da se čelična tiskovna forma (s prikupljenim česticama prašine) postavlja se na stalak ispod gumenog valjka prethodno oslojenog bojom. Točno se pozicioniraju,

prislone se jedan na drugi, te otpuštanjem utega naprave jedan puni okret, svaki u svom smjeru, pri čemu dolazi do prijenosa boje s gumenog valjka na čeličnu tiskovnu formu. Čelični valjak se potom skine s uređaja i montira se na IGT A2 kako bi se boja s forme otisnula na traku papira za umjetnički tisak (bijeli, sjajno premazani papir).



*Slika 14. IGT uređaj za određivanje stupnja prašenja premaza
(prijenos tiskarske boje na tiskovnu formu)*

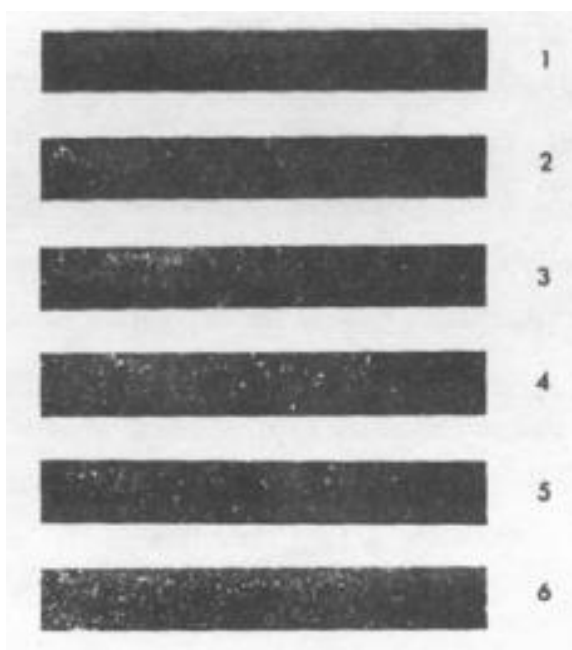
Nakon postavljanja trake papira na IGT A2 uređaj (Slika 15), na njega postavljamo i čelični valjak na kojem se nalazi boja i prikupljene nedovoljno vezane čestice premaza. Na IGT A2 uređaju podese se sila pritiska na 250 N, a otiskivanje se izvodi ručnom brzinom (20 cm/s) Na mjestima gdje su se za tiskovnu formu zalijepile čestice, neće se u dovoljnoj količini prihvatiti boja, što se na otisku vidi kao svijetlo mjesto, nepokriveno ili nedovoljno pokriveno bojilom.



Slika 15. IGT A2 uređaj

(stvaranje otiska na traci papira za umjetnički tisak)

IGT uz aparat isporučuje i standard tablicu s otiscima (tzv. kontaminacijska skala – slika 16), s manjim ili većim brojem loše otisnutih mjesta na jednom otisku. Uspoređujući dobiveni otisak s ovim standardima, možemo zaključiti koliko ima na nekom papiru prašine.



Slika 16. IGT skala

Za svaku vrstu premazanih papira u ovom eksperimentu provedena su po 3 mjerenja, a dobiveni otisci uspoređeni su s IGT kontaminacijskom skalom te su im dodijeljene ocjene od 1-6. Otisci ocijenjeni ocjenom -1 imaju minimalan broj prikupljenih čestica premaza na površini čeličnog valjka, odnosno pokazuju minimalan stupanj prašenja, dok otisci ocijenjeni s ocjenom 6 imaju maksimalan broj prikupljenih nedovoljno vezanih čestica premaza, odnosno pokazuju izrazito visoki stupanj prašenja.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Rezultati određivanja glatkosti papira metodom po Bekku

U tablici 3. prikazani su rezultati glatkosti za svaku klasu papira, na onoj strani papira koju smo odabrali za premazivanje:

Tablica 3. Rezultati određivanja glatkosti papira

Vrsta papira	Glatkost (Bekk)/s	
	Srednja vrijednost	Standardna devijacija
Šrenc	2,98	0,27
Fluting	1,70	0,12
HZ Fluting	1,66	0,11
Testliner	1,34	0,05

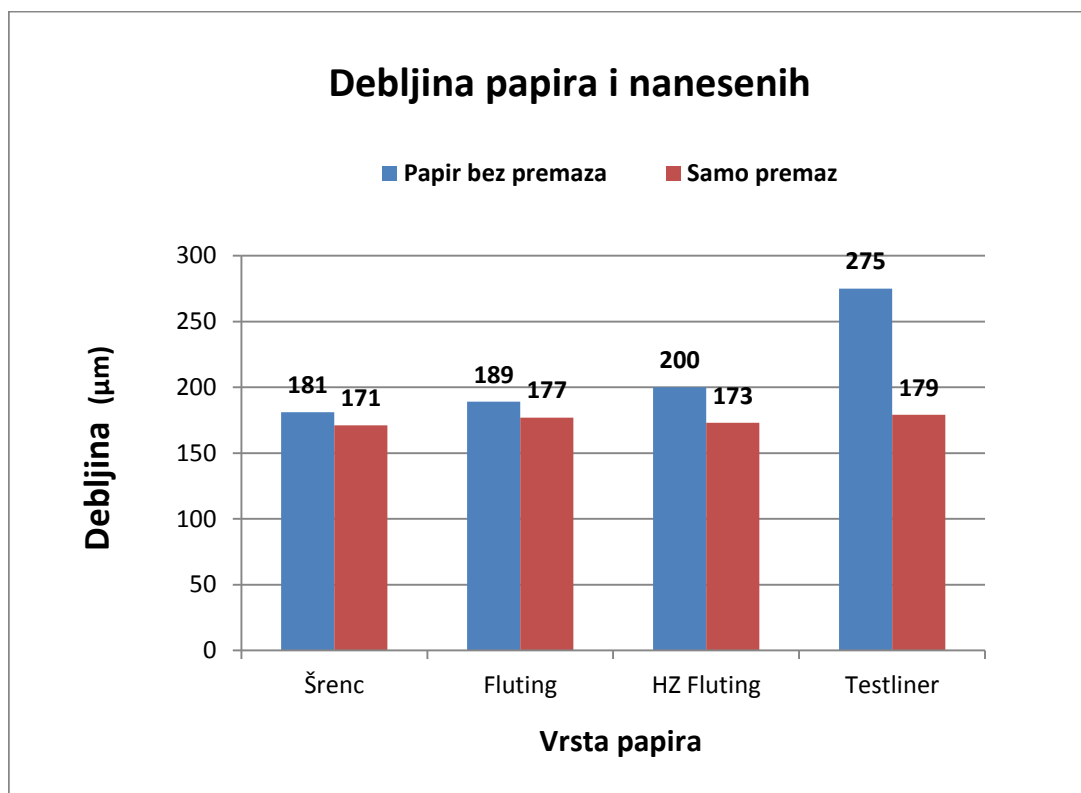
4.2. Određivanje debljine papira (premaza)

U tablici 4. prikazani su rezultati određivanja debljine na referentnim (nepremazanim) uzorcima, kao i rezultati debljine uzoraka s premazom. Na kraju su prikazani i rezultati debljine samog premaza apliciranog na svakoj pojedinoj klasi papira.

Tablica 4. Rezultati određivanja debljine papira

Vrsta papira	Debljina (μm)		
	Papir bez premaza	Papir s premazom	Samo premaz
Šrenc	181,4	352,7	171,3
Fluting	189,0	365,6	176,6
HZ Fluting	200,5	373,1	172,6
Testliner	275,5	454,9	179,4

Dijagramom 1. prikazan je odnos debljine nanesenih premaza i referentnih papira.



Dijagram 1. Odnos debljine nanesenih premaza i referentnih papira

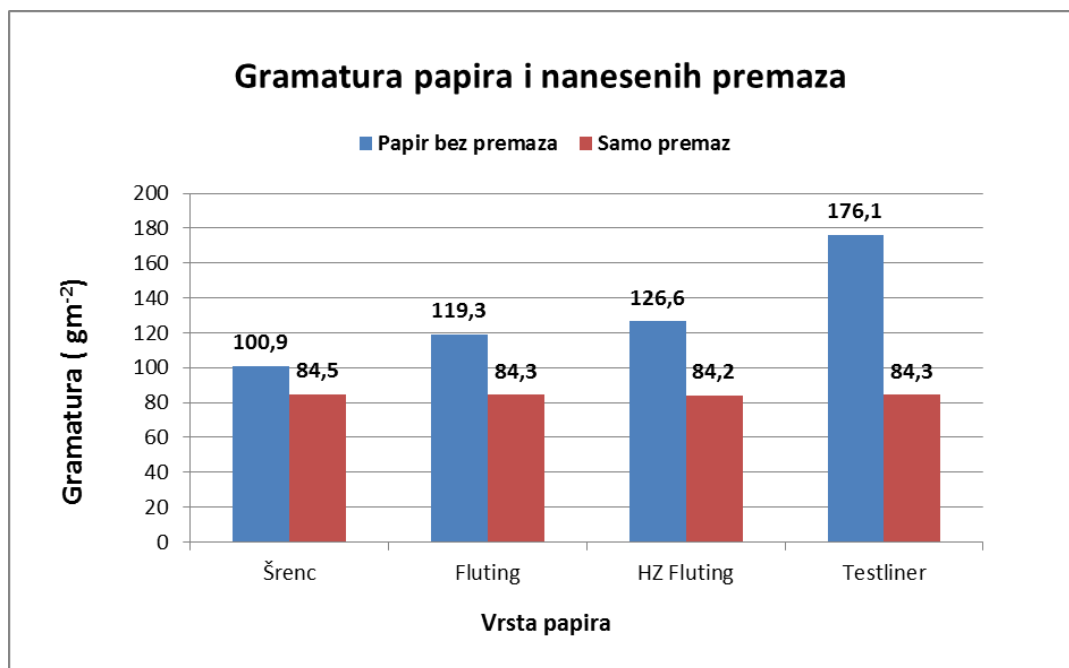
4.3. Određivanje gramature papira (premaza)

U tablici 5. prikazani su rezultati određivanja gramature referentnih (nepremazanih) uzoraka papira, kao i rezultati gramature uzoraka papira s premazom. Prikazani su i rezultati gramature samog premaza apliciranog na svakoj pojedinoj klasi papira.

Tablica 5. Određivanje gramature papira

Vrsta papira	Gramatura (gm^{-2})		
	Papir bez premaza	Papir s premazom	Samo premaz
Šrenc	100,9	185,4	84,5
Fluting	119,3	203,6	84,3
HZ Fluting	126,6	210,8	84,2
Testliner	176,1	260,4	84,3

Dijagramom 2. prikazan je odnos gramature nanesenih premaza i referentnih papira.



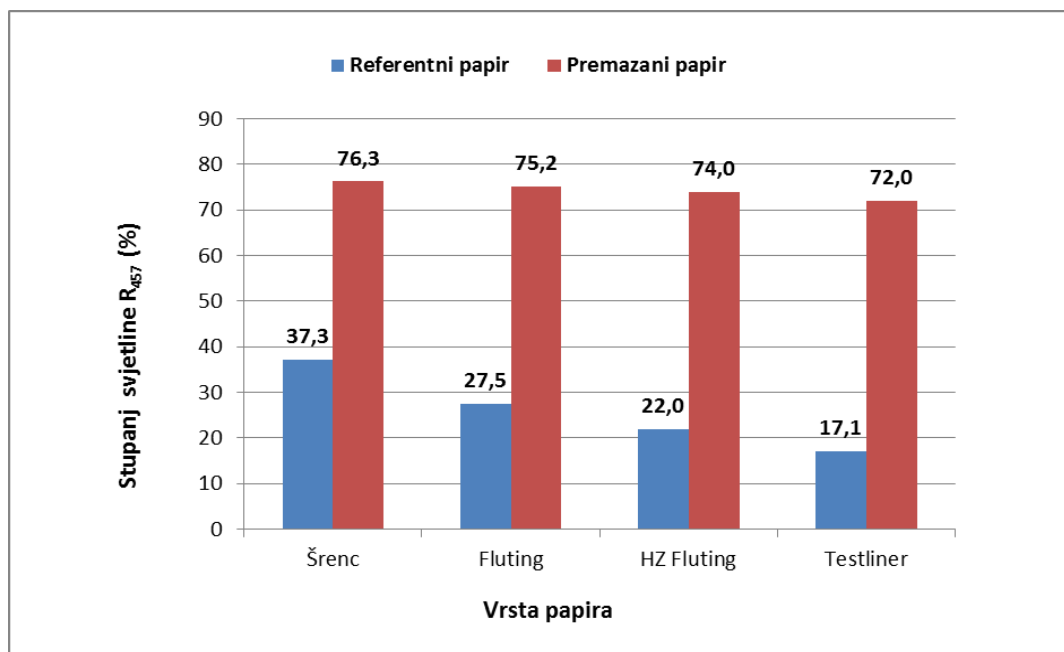
Dijagram 2. Odnos gramature nanesenih premaza i referentnih papira

4.4. Rezultati mjerenja ISO svjetline premazanih i referentnih papira

Rezultati mjerenja ISO svjetline na 4 vrste premazanih i referentnih papira prikazani su u tablici 6. i dijagramu 3.

Tablica 6. Rezultati mjerenja ISO svjetline (R457)

Klase papira	Papiri bez premaza		Premazani papiri	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Šrenc	37,25	0,29	76,25	0,72
Fluting	27,48	0,11	75,19	0,39
HZ Fluting	22,00	0,78	74,00	1,35
Testliner	17,12	0,08	71,99	0,65



Dijagram 3. ISO svjetlina (R 457) nepremazanih i premazanih papira

4.5. Rezultati određivanja stupnja prašenja premaza na papiru

Uzorci su evaluirani na način da su se otisnute trake papira usporedile sa standardnom IGT kontaminacijskom skalom. Vizualnom usporedbom otisnutih traka papira s IGT skalom dodijeljene su im ocjene od 1 – 6 (Slika 16).



Slika 16. Otisnute trake papira

5. DISKUSIJA REZULTATA

Iz rezultata određivanja glatkosti referentnih papira (tablica 3) moguće je primijetiti da se radilo o pretežno hrapavim papirima. Najveća glatkost uočena je kod šrenc papira (2,98 s), a najmanja kod testlinera (1,34 s), dok su HZ fluting i fluting papiri imali približno sličnu glatkost (1,66 s, donosno 1,70 s).

Iz rezultata određivanja debljine apliciranog premaza uočeno je da je debljina nanesenih premaza bila gotovo jednaka debljini referentnih papira (tablica 4), uz iznimku Testliner uzoraka. Također, je utvrđeno da se premazivanjem pomoću laboratorijskog uređaja sa štapovima postižu određene varijacije u debljini nanesenog premaza na različitim vrstama papira. To se objašnjava razlikama u glatkosti korištenih papira, a time najvjerojatnije i u njihovoj upojnosti budući da se premaz sastojao velikim dijelom od vode.

Iz izmjerenih vrijednosti gramature nanesenih premaza (dijagram 2) primjećuje se da su na svim uzorcima papira nanese po iznosu vrlo slične gramature premaza. Gramatura nanesenih premaza na svakoj vrsti papira iznosila je približno 84 g/m^2 (tablica 5).

Iz rezultata ispitivanja ISO svjetline referentnih i premazanih papira (dijagram 3) moguće je uočiti da je od referentnih uzoraka papira najveću svjetlinu imao šrenc papir (37,3%), dok je najmanja svjetlina uočena kod testliner uzoraka (17,1%). Apliciranjem premaza svjetlina premazanih papira porasla je na vrijednosti više od 70% (vrijednosti se kreću u rasponu od 72-76%). Pri tome je opet najveća svjetlina ostvarena kod premazanog šrenc papira (76,3%), a najmanja kod promatranog testliner papira (72,0%), prateći trend koji je bio prisutan i kod nepremazanih uzoraka.

Iz rezultata ispitivanja sklonosti ka prašenju nanesenih premaza (slika 8) može se zaključiti da ne postoji dobra povezanost čestica mikrokristalinične celuloze s osnovom papira, niti da je kohezija u sloju premaza dovoljno jaka pa se zbog toga čestice mikrokristalinične celuloze relativno lako skidaju s površine premaza. Površinska čvrstoća premaza ne zadovoljava uvjete koji se očekuju od strane ambalažnih papira i kartona.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja doneseni su sljedeći zaključci.

Nanošenje MCC premaza na ambalažne papire pozitivno je utjecalo na povećanje njihove svjetline, što je bio i očekivani rezultat budući da je mikrokristalinična celuloza prah izrazito bijele boje.

Rezultati ispitivanja pokazali su da se primjenom navedenog laboratorijskog sustava premazivanja javljaju određene varijacije u debljini nanesenog sloja premaza na različitim vrstama papira, dok se istovremeno postižu približno jednake gramature nanesenog premaza.

Sama formulacija i sastav premaza, međutim, nije se pokazala optimalnom s obzirom na nedovoljnu površinsku čvrstoću nanesenog premaza. Rezultati ispitivanja IGT prašenja pokazali su kako ne postoji dobra povezanost čestica mikrokristalinične celuloze unutar sloja premazanog papira što se odrazilo izrazito jakim prašenjem. Stoga se preporučuje primjena jačeg vezivnog sredstva u sastavu premaza kako bi se ostvarila bolja povezanost komponenti premaza a time i optimalna površinska čvrstoća premaza.

7. LITERATURA

1. *** [http://www.eea.europa.eu/hr/themes/waste/intro/European/ Environment Agency/ Otpadni i materijalni resursi](http://www.eea.europa.eu/hr/themes/waste/intro/European/EnvironmentAgency/Otpadni%20i%20materijalni%20resursi), 20. Srpanj 2014.
2. *** [http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm/ European Commission/ Directive 2008/98/EC on waste \(Waste Framework Directive\)](http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm/EuropeanCommission/Directive%202008/98/EC%20on%20waste%20(Waste%20Framework%20Directive)), 16. Srpanj 2014.
3. Johansson et al., (2012), *Renewable fibers and bio-based materials for packaging applications - A review of recent developments*, Bio Resources, Vol. 7, No. 2, p. 2506-2552
4. ***<http://materijali.grf.unizg.hr/media/Osnovni%20sastojci%20za%20izradu%20papira.pdf>/ Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Osnovni sastojci za izradu papira, 12. Srpanj 2014.
5. Kirwan M., J., (2005). *Packaging technology series*, Paper and Paperboard Packaging Technology, Wiley-Blackwell Publishing, 2005.
6. Jamnicki S., (2011). *Evaluacija prikladnosti različitih klasa recikliranih papira za izradu zdravstveno ispravne prehrabene*, Doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
7. Lozo B., (2004). *Doprinos optimiranju kvalitete novinskog papira*, Magistarski rad, Grafički fakultet, Zagreb
8. Golubović A., (1973). *Tehnologija izrade i svojstva papira*, Ed. VGŠ., Zagreb
9. Peretin S., (2010). *Unapređenje razvrstavanja kućanskog otpada*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu
10. *** <http://www.ekologija.ba/index.php?w=c&id=104/> Centar za ekologiju i energiju/ Recikliranje papira, 17. Srpanj 2014.
11. *** http://www.ilsilife.org/Europe/Publications/R2004Pac_Mat.pdf/ The International Life Sciences Institute (ILSI)/ Packaging materials 6. Paper and board for food packaging applications, 12. Srpanj 2014.
12. Barbarić-Mikočević Ž., (2004). *Mehanizmi deinkinga otisaka nekih tehnika digitalnog tiska*, Doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
13. Marsh K.; Bugusu B., (2007). *Journal of Food Science*, Food Packaging - Roles, Materials, and Environmental Issues, 72 (3) 39-55.

14. Paulapuro H., (2000). *Paper and Board Grades*, Fapet Oy, ISBN 952-5216-18-7, Helsinki, Finland
15. Lajić B., Babić D., Jurešić D., (2008). *Probojna čvrstoća valovitog kartona u ovisnosti o vlazi*, Tiskarstvo
16. Vujković I., Galić K., Vereš M., (2007). *Ambalaža za pakiranje namirnica*, Tectus, Zagreb
17. CPI (2005): Confederation of Paper Industries Corrugated Sector Guidelines, Fibrous materials used in fibreboard manufacture, Technical Bulletin No. 5
18. Chengjun Zhou, Qinglin Wu, (2012). *Recent Development in Applications of Cellulose Nanocrystals for Advanced Polymer-Based Nanocomposites by Novel Fabrication Strategies*, School of Renewable Natural Resource, Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, Louisiana, USA
19. Chauhan V., Chakrabarti S. (2012). *Cellulose Chemistry and Technology*, Vol. 46, No. 5-6, (June-July, 2012) str. 389-400
20. Postek M., Moon R., Rudie A., Bilodeau M., (2013). *Production and Applications of Cellulose Nanomaterials*, TappiPress, PeachtreeCorners, GA

8. POPIS SLIKA, TABLICA I DIJAGRAMA

Slike

Slika 1. Građa celuloze (str. 15)

Slika 2. Shematski prikaz hidrolize celuloze i stvaranja nanokristala (str. 15)

Slika 3. Miješanje MCC smijese (str. 19)

Slika 4. Pripremljena MCC smjesa (str. 19)

Slika 5. Doziranje premaza pipetom (str. 20)

Slika 6. Premazivanje metalnim štapom (str. 20)

Slika 7. Uređaj PTI-Line Bekk (str. 21)

Slika 8. Analitička vaga (str. 22)

Slika 9. Mikrometar za mjerenje debljine papira (str. 23)

Slika 10. Uređaj za mjerenje svjetline papira Colour Touch 2 (str. 24)

Slika 11. IGT Uređaj za razribavanje (str. 25)

Slika 12. Pipete za doziranje precizne količine boje i ulja (str. 26)

Slika 13. IGT uređaj za određivanje stupnja prašenja premaza
(prikupljanje nedovoljno vezanih čestica s površine premaza) (str. 26)

Slika 14. IGT uređaj za određivanje stupnja prašenja premaza
(prijenos tiskarske boje na tiskovnu formu) (str. 27)

Slika 15. IGT A2 uređaj (stvaranje otiska na traci papira za umjetnički tisak) (str. 28)

Slika 16. IGT A2 skala (str. 29)

Slika 17. Otisnute trake papira (str. 34)

Tablice

Tablica 1. Svojstva korištenih papira (str. 17)

Tablica 2. Sastav MCC premaza (str. 20)

Tablica 3. Rezultati određivanja glatkosti papira (str. 30)

Tablica 4. Rezultati određivanja debljine papira (str. 30)

Tablica 5. Određivanje gramature papira (str. 32)

Tablica 6. Rezultati mjerenja ISO svjetline (R457) (str. 33)

Dijagrami

Dijagram 1. Odnos debljine nanesenih premaza i referentnih papira (str. 31)

Dijagram 2. Odnos gramature nanesenih premaza i referentnih papira (str. 32)

Dijagram 3. ISO svjetlina (R 457) nepremazanih i premazanih papira (str. 33)