

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Branimir Buljan

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD
PROMJENA ČVRSTOĆE LIJEPLJENOG
SPOJA POVEĆANJEM PRITISNE SILE

Mentor:

Doc.dr.sc Suzana Pasanec Preprotić

Student:

Branimir Buljan

Zagreb, 2018.

SAŽETAK

Tehnološki razvoj omogućio je i potaknuo razvoj novih materijala i proizvoda unutar grafičke industrije. Time se popis grafičkih konvencionalnih materijala, papira i kartona dodatno proširio. U ovom radu biti će dan kratak pregled najzastupljenijih papira i kartona, a s obzirom da većina doradnih procesa uključuje i procese lijepljenja, navest će se i faktori koji najviše utječu na kvalitetu lijepljenog spoja. Budući da je papir vlaknasta tvorevina nehomogene strukture, dubina penetracije adheziva jedan je od najbitnijih faktora za čvrstoću spoja na koju izravno utječe glavni predmet ovog istraživanja – pritisna sila. Kako bi ispitali kako utječe na čvrstoću spoja, ispitat ćemo čvrstoću ljuštenja za tri vrste materijala (dva papira i jedan karton) pri tri različite vrijednosti pritisne sile.

KLJUČNE RIJEČI: polivinil acetatno ljepilo, papir, karton, pritisna sila, test ljuštenja.

Sadržaj

1.	UVOD.....	- 1 -
2.	MATERIJALI U GRAFIČKOJ INDUSTRIJI.....	- 2 -
2.1.	Papir	- 2 -
2.1.1.	Podjela prema rabljenim sirovinama	- 3 -
2.1.2.	Podjela prema gramaturi	- 3 -
2.1.3.	Podjela prema namjeni	- 4 -
2.1.4.	Podjela prema načinu dorade	- 5 -
2.2.	Doradni kartoni	- 5 -
2.3.	Ljepila	- 6 -
2.3.1.	Vrste ljepila.....	- 7 -
3.	TESTOVI ISPITIVANJA KVALITETE LIJEPLJENIH SPOJEVA.....	- 12 -
3.1.	Test kompresije	- 12 -
3.2.	Test smicanja.....	- 13 -
3.3.	Test istezanja.....	- 13 -
3.4.	Test vezivanja	- 14 -
3.5.	Test ljuštenja	- 15 -
4.	FAKTORI UTJECAJA NA ČVRSTOĆU LIJEPLJENOG SPOJA	- 16 -
4.1.	Svojstva ljepila.....	- 16 -
4.2.	Močenje površine.....	- 16 -
4.3.	Debljina sloja ljepila	- 16 -
4.4.	Veličina površine lijepljenja.....	- 16 -
4.5.	Vrijeme sušenja	- 17 -
4.6.	Glatkost i hrapavost površine papira	- 17 -
4.7.	Temperatura	- 17 -
4.8.	Pritisna sila	- 17 -
5.	EKSPERIMENTALNI DIO	- 18 -
5.1.	Materijali i uređaji	- 18 -
5.2.	Postupak pripreme uzoraka	- 19 -

5.3.	Opis ispitivanja	- 22 -
5.4.	Rezultati ispitivanja	- 23 -
5.5	Diskusija rezultata	- 25 -
6.	ZAKLJUČAK	- 30 -
7.	LITERATURA.....	- 31 -

1. UVOD

Zbog današnje potražnje tržišta, nailazimo na širok spektar grafičkih materijala i proizvoda, stoga u proizvodnji na materijale utječu brojni faktori kao što su: vrijeme sušenja, jačina pritiska, veličina površine lijepljenog spoja, glatkost i hrapavost površine papira te brojni drugi faktori.

Cilj istraživanja je ispitati potrebne jačine pritisne sile s obzirom na različite vrste materijala te adhezijskim testom pobliže definirati čvrstoću lijepljenog spoja pri upotrebi različitih pritisnih sila.

Čvrstoća spoja za svaku vrstu materijala dobiva se mjerenjem prekidne sile koja je bila potrebna da bi došlo do ljuštenja lijepljenog spoja kod pojedinog uzorka (peel - test).

Ispitivane su dvije vrste uredskog papira (Navigator Universal, Recy Office Classic) i jedna vrsta kartona (Lux Pack GC1) na uređaju za kidanje tvrtke Enirco Toniolo, Dynamometer Tensomini Super.

2. MATERIJALI U GRAFIČKOJ INDUSTRIJI

U grafičkoj tehnologiji nailazimo na širok spektar proizvoda te stoga imamo i puno materijala od kojih su ti proizvodi sastavljeni. Pod materijale ubrajamo: plastiku, žicu, konac, vijke, matice, zakovice, papir, karton, ljepenu, tekstil (platno, koža itd.), foliju, metale, drvo, celofan, ljepilo i dr.

U ovom radu pobliže će se objasniti najzastupljeniji konvencionalni grafički materijali koje smo koristili prilikom istraživanja ove teme, a to su papiri, kartoni i ljepila.

2.1. Papir

Papir je porozni materijal izrađen od celuloznih vlaknaca i njihovih fragmenata koji se međusobno isprepleću tako da tvore mrežastu strukturu. List papira se sastoji od nekoliko isprepletenih slojeva vlaknaca. Pod pojam papir u širem smislu obuhvaćamo karton i ljepenu. Papir je isprepletana tvorevina vlaknaca između kojih se nalaze šupljine, a njih možemo djelomično ispuniti punilima, keljivima te tako poboljšat svojstva papira. Papirna masa (pulpa) priprema se od vlaknastih materijala koja dobivamo od: višegodišnjih biljaka, jednogodišnjih biljaka, tekstilnih vlakana (polutvorina), starog papira (reciklirana vlakanca). Glavni sastojci drveta su celuloza (40-45%), hemiceluloze (20-30%) i lignin (25-30%). [1]

Osim osnovnih sirovina pri proizvodnji papira potrebno je dodati punila, keljiva i boje, ovisno o vrsti i kvaliteti papira ovi materijali dodaju se u manjim ili većim količinama kako bi se ostvarila različita svojstva papira.

Punila imaju svrhu da ispune prazninu između isprepletenih vlaknaca, te da daju papiru određenu težinu. Osim toga dodatkom punila postiže se manja prozirnost, jednoličnost površine, mekoća, bjelina, veća glatkost i bolje prihvaćanje boja.

Keljiva se dodaju papirnoj masi da bi se vlakanca bolje povezala s punilima. Takav papir dobiva čvrstoću te nepropustljivost za neke tekućine (tiskovne boje). [1]

Bojila su također važan sastavni dio papira te mu daju specifičan izgled. Dodavanje bojila je važno zbog nijansiranja tonova za koje se najčešće upotrebljavaju boje koje su vrlo topive (plava i ljubičasta). Bojila se dodaju da prekriju žutu nijansu celuloznih vlaknaca.

Upojnost je jedno od bitnijih svojstava papira. Upojnost je svojstvo prodiranja tekućine u papir kroz šupljine. Razlikujemo površinsku upojnost ili upojnost okomitu na ravninu lista, kapilarnu ili upojnost paralelnu s ravninom lista. [1] Kada se radi o lijepljenju, lakše prodiranje ljepila omogućuje veća upojnost u strukturi papira čime se povećava i čvrstoća lijepljenog spoja. Primjenom PVAc i PUR ljepila ne može se postići jednaka brzina u postizanju sljepljenog spoja određene jakosti, kao kod taljivog ljepila (hot-melt).

Najopćenitije podjele papira su: prema rabljenim sirovinama, prema načinu dorade, prema namjeni te prema gramaturi.

2.1.1. Podjela prema rabljenim sirovinama

Papir prema rabljenim sirovinama dijelimo na:

- papir iz krpa (npr. za novčanice i cigarete),
- papir s primjesom krpa (bijeljena celuloza + krpe: za novčanice, povelje i vrijednosne papire),
- celulozne papire (bijeljena celuloza),
- bezdrvne papire (celuloza s najviše 10% drvenjače, što odgovara 3% lignin),
- srednjefine papire (bijeljena ili nebijeljena celuloza te drvenjača, obično oko 50% drvenjače),
- papire iz slame (rižina slama)
- papire iz starog papira (sulfatna celuloza 15-20%, drvenjača i stari papir)
- papire iz umjetnih materijala (sintetički papir).

2.1.2. Podjela prema gramaturi

Pri proizvodnji papira i projektiranju samih grafičkih proizvoda, gramatura (g/m^2) ima veoma važnu ulogu. Gramaturu određujemo količinom nanijete vlaknaste suspenzije te tako dolazi do formiranja različitih gramatura papira koje karakteriziramo kao: papir, karton i ljepenke. [1]

Tablica 1. Gramatura papira po KLEMM-u

Tanki papir	do 49 g/m ²
Srednje tanki papir	50 – 69 g/m ²
Srednje teški papir	70 – 119 g/m ²
Teški papir	120 – 149 g/m ²
Polukartoni	150 – 199 g/m ²
Kartoni	200 – 450 g/m ²
Ljepenke	450- 5000 g/m ²

2.1.3. Podjela prema namjeni

Prema namjeni papir se dijele na:

- pisaće papire,
- uredske papire,
- tiskovne papire (ovisno o tehnici tiska),
- ukrasne papire,
- crtaće papire,
- omotne papire,
- specijalne papire (u koje ubrajamo filter papir, upijajući papir, indicator, cigaretni papir, obojeni itd.)

S obzirom da će se ispitivanje provoditi korištenjem uredskog (*office*) papira, u nastavku se ukratko objašnjavaju neke od vrsta navedenih papira koji će se koristiti u radu.

Navigator Universal – sastoji se od 100% primarnih vlakana (izrazito kvalitetan uredski papir, velike bjeline i optimalne gustoće za sve vrste uredskih uređaja). (80 g/m²)

Recy Office Classic - sastoji se od 100% recikliranih vlakana (80 g/m²).

2.1.4. Podjela prema načinu dorade

Papire prema načinu dorade dijelimo na: nepremazane (prirodne ili naravne) i premazane.

Nepremazani papiri mogu biti jednostrano glatki, obostrano glatki, jednostrano satinirani i obostrano satinirani. U skupinu nepremazanih papira ubrajamo sljedeće: ofsetni papiri, reciklirani papiri, listovni papiri, papire sa vodenim znakom, knjižne papire, novčani papir, uredski papir (*office*), transparentni papir, papir za elektrofotografiju, papir za Ink Jet. [2]

Premazani papiri mogu biti jednostrano premazani (kromo papiri), obostrano premazani (papiri za umjetnički tisak, mat ili sjajnog premaza) i plastificirani. Premazani papiri nastaju nanašanjem premaza u doradnoj fazi proizvodnje papira. Ono se može provesti: špricanjem, premazivanjem rakelom, premazivanjem četkama i premazivanjem valjcima. Premaz se na papir može nanijeti u nekoliko slojeva s jedne ili s obje strane papira. Premazi na papiru uglavnom se sastoje od mješavine pigmenata, veziva i optičkih dodataka (bjelila).

2.2. Doradni kartoni

Gramatura kartona najčešće se kreće između 200 i 500 g/m². Najvećim dijelom se koristi za izradu ambalaže (40-50%) te korica knjiga, razglednica, fascikla i sličnih proizvoda. Osnovni materijali od kojih se izrađuje karton su celuloza, drvenjača i otpadni papir. Pomoćni materijali su: punila, keljiva (veziva) i bojila.

Svojstva kartona koja ovise o potrebama tiska, o njegovoj pretvorbi u kutije, njegovom korištenju za ambalažu, distribuciju, pohranu i zaštitu proizvoda mogu se identificirati i precizno izmjeriti. [1] Sva svojstva ovise o vrsti sirovog materijala, kao npr. o vrsti i količini vlakna i drugih pomoćnih materijala te o samom procesu proizvodnje. Ova svojstva kartona odnose se na opća, optička i mehanička svojstva:

- Opća svojstva odnose se na gramaturu, debljinu, smjer vlakana, postotak vlage i dr.
- Optička svojstva odnose se na boju, bjelinu, opacitet, sjaj te ukupni vizualni dojam i potrebe procesa poput tiskanja koji jako utječu na optički izgled ambalaže.
- Mehanička svojstva se odnose na krutost, otpornost prema cijepanju, otpornost prema kidanju, kao i na opću zaštitu proizvoda i potrošača te efikasnost svih procesa uključenih u proizvodnju ambalaže.

Svojstva kartona mogu se mijenjati, pa se tako kontrolira kvaliteta ulaznog materijala, tj. operacija u fazi pripreme kartona za tisak. Ispitivanje svih spomenutih svojstava i održivost tih svojstava su vrlo bitni u grafičkoj proizvodnji.

Karton za ambalažnu svrhu mora imati sljedeće karakteristike: otpornost na mehanička opterećenja, otpornost na klimatske uvjete, barijerna svojstva, vizualne karakteristike te mogućnost upotrebe za pakiranje hrane. Na tržištu postoje brojne vrste kartona, koje ovisno o svojim karakteristikama služe za izradu raznih vrsta kartonskih kutija u prehrambenoj i konditorskoj industriji, za izradu omota, podložnih kartona, kvalitetne kartonske ambalaže i to za kozmetičku, farmaceutsku, prehrambenu i kemijsku industriju, korica za meki uvez knjiga, razglednice i sl (primjerice kartoni GD2, GD3, GT2, GC1 i GC2). [1]

2.3. Ljepila

Lijepljenje je spajanje dvaju ili više istovrsnih ili različitih materijala adhezijom trećega kojeg nazivamo ljepilo. Proces lijepljenja započinje dovođenjem ljepila u stanje u kojem ga možemo nanositi na površinu tvari koju želimo slijepiti. Nakon toga slijedi premazivanje površine za lijepljenje i nanošenje ljepila, a nakon čega slijedi spajanje tvari koje se lijepe preko površine na koje je ljepilo nanoseno. Kako bi se lijepljenje moglo uspješno obaviti bitno je da ljepilo ima svojstvo adhezije prema materijalu koji se lijepi. Ukoliko materijal ima dostatnu koheziju i stabilnost utoliko će veza između slijepljenog materijala bila trajna i čvrsta. Tijekom procesa lijepljenja, zbog ljepila se ne smiju bitno mijenjati svojstva materijala koji se spaja. Kod različitih površina materijala koji se lijepe, dodir se postiže samo kad je ljepilo u tekućem ili kašastom stanju. [3] Takvo agregatno stanje ljepilu omogućuje da potisne sloj zraka koji okružuje površinu te ostvari neposredni dodir s tom površinom. Nakon dovršenog procesa lijepljenja važno je da ljepilo što prije postigne svoja konačna svojstva. Ljepila igraju temeljnu ulogu u mnogim modernim tehnologijama, a u slučaju odljepljivanja može doći do katastrofalnih posljedica. Zbog navedenog, od izuzetog značaja su privlačne sile adhezije i kohezije.

Adhezijaje međuatomska i međumolekularna sila između ljepila i površine materijala te je bolja što je jači kontakt dviju površina.

Kohezija je međuatomska ili međumolekularna sila koja djeluje između susjednih čestica neke tvari, tj. sila povezivanja u samom sloju ljepila. Kohezija je bolja što je tanji i ravnomjerniji nanos ljepila. [4]

2.3.1. Vrste ljepila

U grafičkoj industriji rabe se mnogobrojna ljepila različitih svojstava, predviđena za razne namjene, a na tržištu su pod različitim komercijalnim nazivima: glutaminsko ljepilo (tutkalo), škrobna ljepila, kazeinsko ljepilo, vodeno staklo, sulfitno ljepilo, karboksimetilcelulozno ljepilo, hot – melt ljepila (EVA), poliuretanska ljepila (PUR) i polivinil-acetat emulzije (PVAc). [5]

Nastavno se daje kratki opis pojedine vrste ljepila.

Glutaminsko ljepilo (tutkalo) - u glutaminska ljepila spadaju koštano, kožno, riblje i želatinsko ljepilo. Dolazi u obliku ploče, granulata i sličnog, a može se dobro uskladištiti na suhom zraku. Njegova je osnova ljepljiva tvar glutaminskih bjelančevina.

Škrobna ljepila - škrob za proizvodnju ljepila može se dobiti od krumpira, pšenice, ječma, riže, kukuruza, pago-palme i korijena nekih tropskih biljaka. Svježi škrob je prašak bez okusa i mirisa, bijele boje te vrlo hidroskopian. Nije prikladan za duže skladištenje te se u hladnoj vodi rastvara, u toploj bubri, a razgrađuje se djelovanjem topline. Škrob + kipuća voda daje neutralno škrobno ljepilo, škrob + lužina daje alkalno škrobno ljepilo, škrob + lužina + neutralizacija daje biljno ljepilo.

Kazeinsko ljepilo - kazeinsko ljepilo dobiva se rastvaranjem kazeina, bjelančevine koju sadrži mlijeko. Kazein je bijeli prašak koji se ne otapa u vodi već samo bubri. Za otapanje kazeina koriste se boraks, otopina amonijaka, soda, gašeno vapno ili vodeno staklo. Potrebno ga je zaštititi dodacima za konzerviranje kako bi se spriječilo kvarenje.

Vodeno staklo - vodeno staklo odnosno natrij - silikat je kvalitetno, postojano i jeftino ljepilo koje se koristi u proizvodnji valovitog kartona. Zbog štetnosti za zdravlje, valoviti karton, namijenjen proizvodnji kutija za prehrambene proizvode ne smije se lijepiti ovim ljepilom.

Sulfitno ljepilo - nastaje kada se kemiceluloza zbog utjecaja sulfatne kiseline pri kuhanju sulfitne celuloze hidrolizom razdvoji na nusprodukt, a to je drveni šećer. Drveni šećer se

vrenjem prerađuje u etilni alkohol. Koncentrat sulfitno – alkoholne patake pokazao se veoma kvalitetnom sirovinom za dobivanje jeftinih ljepila. Koncentratu se dodaje voda, odmoćeno koštano ljepilo kalcij – klorida i magnezijeve soli. Rabi se kod sastavljanja cijelopapirnih i cijeloplatnenih korica i kod lijepljenja korica od raznovrsnih imitacija. [4]

Karboksimetilcelulozno ljepilo - zamjenjuje škrobno ljepilo, a koriste se za manje površine premaza radi pojačavanja araka, za lijepljenje priloga i kaširanje u stroju. Svojstva ljepila od karboksimetilceluloze su izvrsna ljepljivost, elastičnost, bezbojnost, bezmirisnost, postojanost pri čuvanju u dostupnost sirovine.

Hot – melt ljepila (EVA) - Etilen – vinil acetat kopolimer koristi se kao osnovni polimer za hot- melt ljepila u grafičkoj industriji. Ova ljepila ne sadrže otapala niti vodu pa se mogu smatrati 100%-tnim krutinama. Zagrijavaju se neposredno prije primjene te tako postaju tekuća i rastezljiva, dok na sobnoj temperaturi poprimaju čvrsto stanje. Baza su im termoplastični polimeri ili voskovi, a ovisno o sastavu raspon boje je od bijele do tamno smeđe. Hot – melt ljepila sadrže tri tvari, a to su osnovni EVA polimer, ljepljiva smola i vosak. Zagrijavaju se na temperaturi između 170 – 190 stupnjeva C. Sastav od 50% čine vinilne smole koje daju čvrstoću, oko 30% čine različite smole koje smjesi daju ljepljivost, a 20% sredstava čine omekšivači, topitelji i u nekim slučajevima pigmenti, međutim niti jedan od sastojaka ne sadrži vodu. EVA hot – melt ljepila standardna su ljepila koja se koriste kod tradicionalnog mekog uveza. EVA ljepila podliježu nastajanju pukotina ako se proizvod pohranjuje u hladnim skladištima, dok s druge strane daju dobru fleksibilnost. Hot – melt ljepila su kruta i neelastična te se teško koriste kod premazanih papira, papira velike gramature i bez prljanja glave za nanos ljepila.

Poliuretanska ljepila (PUR) - specijalno ljepilo koje je slično hot – melt ljepilu i glavni je predstavnik termoreaktivnih ljepila u grafičkoj industriji. Proizvodi se od poliuritanskog reaktivnog (PUR) materijala, a sadrži još i punila te tvari za razrjeđivanje. Nanošenje se vrši pri temperaturi od 120°C do 130°C, dok se inicijalni vez javlja neposredno nakon nanošenja ljepila na podlogu što omogućava daljnju obradu proizvoda bez odlaganja. PUR ljepila trebaju najmanje šest sati za sušenje, stoga knjige lijepljene ovim ljepilom moraju ostati izložene prirodnom zraku, jer kemikalije u ljepilu suše upijanjem vlage iz zraka. S obzirom da su najfleksibilnija i najizdržljivija ljepila za uvezivanje na tržištu, isto ih čini idealnima za uvez srednjoškolskih udžbenika, priručnika te ostalih knjiga koje se često

koriste, a tiskane su na velikoj gramaturi papira, premazanim papirima pa čak i sintetici. Testovi simuliranih uvjeta starenja pokazuju da PUR ljepilo traje daleko dulje od papira.

Polivinil-acetat emulzije (PVAc) - Polivinil-acetat emulzije su disperzije hladnog ljepila s oko 50 posto suhe tvari. PVAc je polimer vinil-acetat koji se održava u vodenim disperzijama. PVAc emulzije koriste se kao ljepila za uvezivanje, međutim bez plastifikatora ona će se stvrdnuti i postati krhka nakon nekog vremena. Dodavanjem plastifikatora će omekšati PVAc polimer.

Tablica 2. Početna formulacija PVAc ljepila za uvez knjiga

Polivinil-acetatna emulzija	90%
Dibutil ftalat plastifikator	6%
Toulen sulfonamid formaldehid	4%

Ova vrsta ljepila stvara čvrstu vezu u 4 faze [4]:

- Početni kontakt pri kojem ljepilo treba prodrijeti što bolje u pore podloge,
- Odstranjivanje vode – ljepilo ostaje između podloga koje se lijepe nakon difuzije vode u podloge,
- Inicijalno formiranje filma ljepila,
- Stvaranje kompaktnog sloja lijepljenja.

Polivinil-acetatne emulzije sadrže razne dodatke koji im se dodaju kako bi se dobila ljepila za posebne namjene. U tablici 3. Navedena su opća svojstva PVAc ljepila:

Tablica 3.: *Opća svojstva PVAc ljepila*

SVOJSTVA	JEDINICA
Gustoća	1100 kg/m ³
pH	4 – 6
Viskoznost pri 25°C	10 – 15 Pa·s
Veličina čestica	0,5 – 3 µm
Sadržaj suhe tvari	48 – 51 %
Temperatura u radnom prostoru	5 – 30 °C
Minimalna temperatura nastajanja filma	2°C

Dodaci PVAc ljepila - *plastifikatori (omekšivači)* su najvažniji dodatak PVAc ljepilima čijim utjecajem sloj ljepila postaje elastičniji i mekši. Čista PVAc emulzija bez plastifikatora, nakon starenja, postaje tvrda i lomljiva. Međutim, dodavanjem odgovarajuće količine plastifikatora ljepilo se omekšava i uklanja se krhkost. Povećavaju se sile adhezije dok sile kohezije tek neznatno slabe. Kao omekšivači se koriste jednostavni esteri, a to su tvari koje tvore film oko čestica disperzije čime se povećava udaljenost među njima i smanjuje njihova povezanost, što dovodi do povećanja fleksibilnosti filma ljepila i smanjuje minimalnu potrebnu temperaturu za stvaranje filma. Eksterno plastificirani homopolimeri, poput PVAc ljepila, osigurat će mnogo jači spoj nego interno plastificirani kopolimeri. Razlog je tome što će eksterno plastificirana emulzija otvrdnuti sa migracijom plastifikatora u okolinu ili strukturu papira tijekom starenja. [5]

Otapala na svojstva PVAc ljepila djeluju slično kao i omekšivači, no njihov je učinak privremen. Kao otapala koriste se alkoholi, esteri, ketoni i aromatski ugljikovodici, a dodaju se ljepilu u količinama od 1 do 5 posto na suhu tvar PVAc ljepila.

Punila se dodaju ljepilu kako bi se povećao udio suhe tvari, povećala viskoznost i gustoća, povećala izdržljivost, smanjila penetracija, poboljšala svojstva filma za ispunu pora i pukotina te smanjila cijena ljepila. Najčešće se kao punila koriste gips, modificirani škrob, kalcijev karbonat, kaolin i glina. Organska se dodaju u udjelu od 5 do 10 posto, a anorganska i do 50 posto na suhu tvar PVAc ljepila.

Polivinil – acetatno ljepilo se nanosi hladno. U procesu sušenja smola prodire duboko u strukturu papira formirajući čvrstu vezu. Ljepila bazirana na emulzijama za uvezivanje knjiga mogu biti teško primijenjiva zbog njihove niske viskoznosti i pjenjenja. Također, kod nepravilne primjene mogu dati nedosljedne rezultate. Iako se ove emulzije ljepila mogu razrijediti vodom ne smije se zanemariti kako bilo kakva promjena u količini vode značajno mijenja njihovu viskoznost. PVAc ljepilo daje fleksibilnu vezu i neće ispucati na ekstremnim temperaturama.

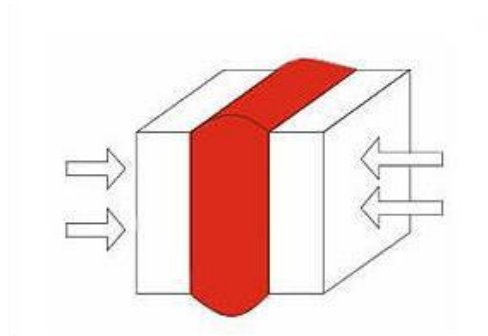
Što se tiče uporabe PVAc ljepila u grafičkoj industriji, zasigurno je najzastupljenije njegovo korištenje kod bešavne forme uveza u grafičkoj doradi. Uvelike se koristi i kod lijepljenja i laminiranja ostalih materijala kao što su kartoni, ljepenke, folije, staklo i metal. Koristi se kod ambalaže za smrznutu hranu zbog fleksibilnosti pri niskim temperaturama.

3. TESTOVI ISPITIVANJA KVALITETE LIJEPLJENIH SPOJEVA

S obzirom da se ne mogu pouzdano predvidjeti karakteristike lijepljenog spoja temeljene isključivo na parametrima ljepila i podloge, provode se adhezijski testovi, tj. testovi ispitivanja kvalitete lijepljenih spojeva. Sama izvedba adhezivne veze često je promjenjiva i ovisi o materijalu i postupcima koji se provode. Testovi kao što su ljuštenje i smicanje su relativno jednostavni, ali potrebno je iskustvo da se utvrdi ispravnost postupaka, procijeni pouzdanost dobivenih podataka kako bi se interpretirali rezultati i primijenili u praktičnom radu. [6]

3.1. Test kompresije

U ovu vrstu testa ubrajamo bilo koje testiranje u kojem materijal doživljava suprotne sile koje ga guraju prema unutra ili je na drugi način komprimiran, zgnječen, zdrobljen ili spljošten. [7] Ispitni uzorak se uglavnom smješta između dviju ploča koje raspoređuju primijenjeno opterećenje po cijeloj površini dvaju suprotnih lica ispitnog uzorka. Nakon toga se ploče guraju univerzalnim strojem za ispitivanje, što uzrokuje da se uzorak poravna. Komprimirani uzorak obično se skraćuje u smjeru primijenjenih sila i širi u smjeru okomito na silu. Cilj kompresijskog testa je određivanje ponašanja ili reakcije materijala dok iskorištava kompresivno opterećenje mjerenjem osnovnih varijabli, kao što su naprezanje, stres i deformacija. Testiranjem materijala u kompresiji može se odrediti tlačna čvrstoća, snaga prinosa, krajnja čvrstoća i elastična granica. Kada dođe do granica tlačne čvrstoće krhki materijali se lome. Otkrivanje loma se može odrediti kada se ispitivanje provede do prekida.

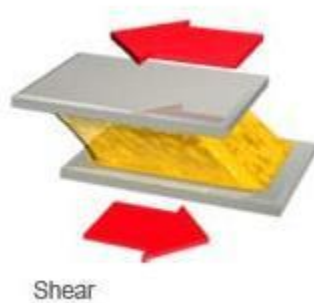


Slika 1.: Smjer djelovanja sila kod kompresije;

Izvor : <http://www.plasticsdecorating.com/stories/080814/assembly.shtml#.WTlqW5DyiM8>

3.2. Test smicanja

Najčešća upotreba smičnih ispitivanja je da se odrediti jačina smicanja koju materijal može izdržati prije nego što popusti. Ovo je vrlo važan test karakterističan za mnoge vrste pričvrstnih elemenata kao što su vijci i matice. Smične sile uzrokuju to da se jedna površina materijala pomakne u jednom smjeru, a druga površina se pomiče u suprotnom smjeru tako da materijal bude podvrgnut klizanju. Smični testovi razlikuju se od ispitivanja napetosti i kompresije u tome što su primijenjene sile paralelne s dvije kontaktne površine, dok su u napetosti i kompresiji okomite na kontaktne površine. U testu smicanja obično se testiraju tri materijala – krute površine, ljepljiva i slojevite površine. [6]

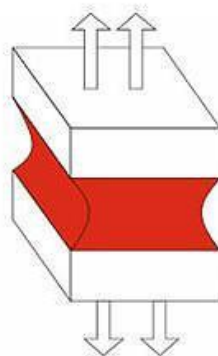


Slika 2.: Djelovanje sila kod testa smicanja;

Izvor: http://www.adhesivetest.com/intro_at.htm

3.3. Test istezanja

Test istezanja služi za određivanje otpornosti lijepljenog spoja prema kidanju i prekidnom rastezanju. Vrijednosti se očitavaju na kidalici, a ostale veličine kao što su prekidna jakost papira i indeks kidanja određuje se računski. Ovaj test je jednostavan za postavljanje, kompletiranje i otkrivanje mnogih svojstava materijala koji se testiraju. Smatra se da su vlačna ispitivanja bitno suprotna ispitivanjima kompresije. Vlačno ispitivanje je dizajnirano da se pokreće sve dok uzorak ne izdrži ili se ne prekine pod opterećenjem. [7] Vrijednosti koje se mogu mjeriti iz ove vrste ispitivanja mogu biti čvrstoća rastezanja, krajnja čvrstoća, elongacija, elastičnosti modula, čvrstoća iskorištenja i drugo. Mjerenja koja se poduzimaju tijekom ispitivanja otkrivaju karakteristike materijala dok je pod utjecajem vlačne sile.



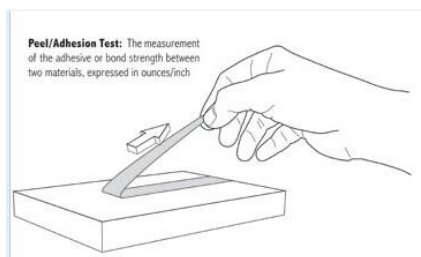
Slika 3.: Smjer sila kod testa istezanja;

Izvor:

<http://www.plasticsdecorating.com/stories/080814/assembly.shtml#.WTlvjJDyiM8>

3.4. Test vezivanja

Metoda koja je korištena za ispitivanje prijanjanja premaza na supstrate i također se koristi za procjenu ljepila. Sama veza se testira nakon što se nanese ljepilo i završi se proces formiranja inicijalnog sloja ljepila. Sila se primjenjuje izravno na ljepilo u pokušaju da se ukloni iz materijala ili da se odvojiti od materijala koji su međusobno spojeni ljepilom. Sila se zatim ili stalno povećava ili ostaje konstantna i primjenjuje se na vezu dok ne dođe do promjene. Testovi vezivanja utvrđuju čvrstoću lijepljenog spoja. Ispitivanja su pokazala da mnogi aspekti ispitivanja, kao što su miješanje ljepila, priprema površine premaza i temperatura testa utječu na rezultate. [8]



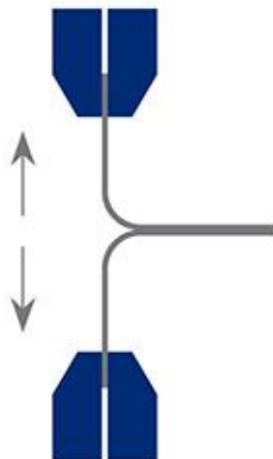
Slika 4.: Čvrstoća veze između dva materijala;

Izvor: <http://m.hr.nks-adhesive-tape.com/solutions>

3.5. Test ljuštenja

Ovim testovima ispituje se adhezijska čvrstoća materijala ili čvrstoća ljepljive veze između dva materijala spojenih ljepilom. Materijali mogu biti fleksibilni ili mogu biti jedan fleksibilan, a drugi krut. Samo ljepilo ima oblik tankog sloja između dva materijala. [9] Ova čvrstoća ljepila može se nazvati "ljepljivost" materijala, jer se mjeri otpornost uzoraka na odvajanje jednog od drugog nakon što se nanese ljepilo. Izmjerena vrijednost može se zatim koristiti za određivanje je li adhezivna veza dovoljno jaka ili previše jaka za primjenu i da li je potrebna druga vrsta ljepila ili vezivanja. Najčešći tipovi testova za mjerenje čvrstoće ljepila su T-peel, 90° peel i 180° peel.

T-peel testovi spadaju u vlačna ispitivanja. Izvode se na dva fleksibilna materijala koji su spojeni i smješteni u hvataljke za testiranje. T-peel testovi određuju relativnu otpornost na ljuštenje ljepljivih veza između tankih fleksibilnih materijala pomoću uzorka T-tipa. [10] Jedan materijal se stavlja u gornju hvataljku dok se drugi spušta prema dolje tako da se vezana površina spušta vodoravno, a cjelokupni uzorak oblikuje oblik "T". Ovi testovi pomažu u procjeni izdržljivosti adhezivno vezanih sustava na utjecaje iz okoline. Prednost kod ljepila koja se testiraju je da su troškovi uzoraka relativno niski. Uvjeti pod kojima se ti materijali ispituju sastoje se od različitih kombinacija predobrade, temperature i brzine ispitivanja, ovisno o standardnoj metodi ispitivanja koja se koristi za vođenje postupka ispitivanja.



Slika 5.: Smjerdjelovanjasilapri T-Pell testu;

Izvor: <http://www.mecmesin.com/peel-test-adhesion-testing>

4. FAKTORI UTJECAJA NA ČVRSTOĆU LJEPLJENOG SPOJA

Postoje mnogobrojni faktori koji utječu na kvalitetu i čvrstoću lijepljenog spoja kao što su: svojstva ljepila, močenje, debljina sloja ljepila, veličina površine lijepljenja, vrijeme prešanja i sušenja, glatkost i hrapavost površine papira, temperatura i tlak. [11]

4.1. Svojstva ljepila

Kvaliteta lijepljenog spoja ovisi o izboru vrste ljepila, tipu i proizvođaču. Na čvrstoću utječu svojstva sloja, površine ljepila i odgovarajuće prijanjajuće sile. Izbor tipa i oblika ljepila ovisi o izvedbi proizvoda, zahtjevima krajnjeg korištenja i postupku nanošenja ljepila.

4.2. Močenje površine

Sposobnost ljepila da ostvari potpuni dodir s obje površine za lijepljenje zove se sposobnost močenja. Stupanj močenja mjeri se kutom močenja. Kako bi se postiglo da ostvari potpuni dodir s obje površine te da prodre u sve pore i neravnine površine, ljepilo se nanosi u kapljevitom stanju i pri tome se podvrgava potrebnom tlaku. Da se smanji mogućnost zaostalih naprezanja, tijekom očvršćivanja ljepilo ne bi smjelo znatnije mijenjati svoj volumen. Također, toplinska rastezljivosti materijala koji se lijepi i ljepila mora biti približno jednaka.

4.3. Debljina sloja ljepila

Debljina sloja ljepila također utječe na čvrstoću lijepljenog spoja i povoljnije je da debljina sloja ljepila bude manja. Optimalnom debljinom sloja ljepila smatra se od 0,1 do 0,3 mm. U slučaju da debljina sloja naraste za 1 mm, čvrstoća će pasti za 40% prethodne vrijednosti. Postoje faktori koji utječu na čvrstoću lijepljenog spoja a temelje se na debljini sloja ljepila (primjerice: pojava nehomogenosti, odnos među područjima u kojima djeluju adhezijske i kohezijske sile..). [10]

4.4. Veličina površine lijepljenja

Što ima više adhezijskih veza, tim je veća čvrstoća lijepljenog spoja. Što je veća površina na koju ljepilo prijanja, to ima više adhezijskih veza. Stoga se dolazi do zaključka da je za

najveću čvrstoću spoja potrebna što veća površina prijanjanja ljepila, koja se postiže pravilnim ohrapljivanjem površine. Treba biti oprezan prilikom odabira veličine površine lijepljenja, jer prekomjerno povećanje može nepovoljno utjecati na čvrstoću spoja.

4.5. Vrijeme sušenja

Vrijeme i uvjeti sušenja, jačina i vrijeme opterećenja te otvoreno vrijeme sušenja tijekom spajanja lijepljenog spoja igraju važnu ulogu u procesu lijepljenja te na konačnu čvrstoću spoja. [10] Isto tako, prilikom prešanja lijepljenih uzoraka vrijeme trajanja i sila opterećenja imaju značajan utjecaj jer dolazi do promjene oblika sloja ljepila i popuštanja nekih veza između molekula polimernog ljepila.

4.6. Glatkost i hrapavost površine papira

Glatkost opisuje svojstvo pridržavanja papira idealnoj ravnini, a hrapavost je devijacija od idealne ravnine. Glatkost za tisak se očituje određenim pritiskom prilikom tiska, a za kvalitetnu reprodukciju je važna i mekoća. Za tisak su pogodni mekani papiri, ali manje glatki. Povećanjem hrapavosti površine povećava se dodirna površina s ljepilom te je slijepljeni spoj čvršći.

4.7. Temperatura

Temperatura ima veliki utjecaj na kvalitetu lijepljenog spoja, jer ljepila čvrstu na sobnoj temperaturi (hladna ljepila) i na temperaturi od 80 - 200°C (taljiva ili topla ljepila). Prednost taljivih ljepila u odnosu na hladna su veće čvrstoće lijepljenog spoja. [9]

4.8. Pritisna sila

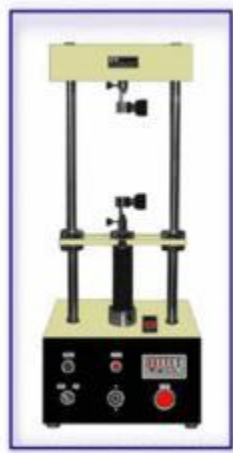
Prilikom utjecaja pritisne sile dolazi do puzanja ljepila. Puzanje ljepila je vremenski ovisna deformacija viskoelastičnih tvari pri konstantnom opterećenju. Trajnost lijepljenog sloja uvelike ovisi o osjetljivosti ljepila na puzanje. Posljedica toga je promjena oblika sloja ljepila pri statičkom opterećenju, a u ovisnosti o vremenu trajanja opterećenja. Puzanje lijepljenog sloja je posljedica popuštanja nekih veza među molekulama polimera. Puzanje će se zaustaviti ukoliko materijal pri rastezanju očvrstne, a u suprotnom se puzanje nastavlja do loma.

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio rada nam omogućuje da detaljno ispitamo i analiziramo čvrstoću lijepljenih proizvoda pod različitim silama pritiska. Kao što je navedeno u teorijskom djelu rada, na čvrstoću sljepljenog spoja utječu brojni faktori. Rezultate adhezijskih testova koje ćemo provest (T-peel test) zbog niza parametara koji utječu na čvrstoću nisu usporedivi među laboratorijima, već služe za međusobnu usporedbu.

5.1. Materijali i uređaji

Ispitivanje čvrstoće lijepljenog spoja vrši se na kidalici tvrtke Enrico Toniolo, Dynamometer Tensomini Super. Uređaj je namijenjen ispitivanju otpornosti papira prema kidanju. Nakon izvršenog testa kidanja na uređaju je moguće očitati prekidnu silu izraženu u njutnima (N) i prekidno istezanje u milimetrima (mm). Raspon opterećenja kidalice je do 25 kilograma (250 N) s korakom od 1 grama (0,01 N), dok je točnost prekidnog istezanja 0,1 milimetar. Razmak između hvataljki koji se ručno podešava je 50, 100, 150 i 180 milimetara, a brzina kidanja je 10 do 250 mm/min.



Slika 6.: Kidalica Enrico Toniolo Dynamometer Tensomini Super;

Izvor: <http://www.hellotrade.com/enrico-toniolo-srl/dynamometer-tensomini-super-thickness-gauge.html>

U svrhu ovog istraživanja provedeni su standardizirani uvjeti pripreme papira, kartona i ljepila prema standardu ISO 187:1990.

Papiri koje koristimo spadaju u skupinu uredskih papira i dolaze u formatu A4 i gramature od 80 g/m^2 . Za ispitivanje koristimo dvije vrste papira i karton (350 g/m^2).

Korišteni papiri i kartoni su:

Papir Navigator Universal od 100% primarnih vlakana; (R0 u nastavku rada),

Papir Recy Office Classic od 100% recikliranih vlakana; (R100 u nastavku rada),

Lux Pack GC1 koji je jednostrano premazani voluminozni bijelo – bijeli karton na bazi celuloze dizajniran za izradu visoko kvalitetne ambalaže. Pozadina kartona je bijele boje s laganim premazom. Karakteriziraju ga visoka bjelina, ušteda u gramaturi zbog voluminoznosti i izrazito bijela poledina s izvrsnim karakteristikama tiska. Koristi se za kozmetičku i konditorsku ambalažu, korice za meki uvez knjige, kutije, razglednice i tako dalje. Predviđen za offset tehniku tiska.

Uz kidalicu, papire i kartonljepilo je neizostavan faktor. Za provođenje ispitivanja koristi se PVAc Signakol L ljepilo izrađeno na bazi vodene disperzije polivinil acetata uz dodatak aditiva. Ljepilo je predviđeno za strojno i ručno nanošenje. Koristi se za lijepljenje u sustavu papir – papir, papir – karton, karton – karton. Film ljepila je proziran i elastičan. Ima 45% ($\pm 2\%$) suhe tvari i dinamičku viskoznost (pri 20°C) od 8000 - 10000 mPa·s. Optimalni uvjeti lijepljenja su pri temperaturi prostorije od 18°C do 20°C i relativne vlažnosti zraka 60 do 70 posto. Što se tiče utjecaja vremena sušenja ljepila, možemo naglasiti da je kod PVAc ljepila dugo vrijeme sušenja, potrebno je 3 do 4 sata da dođe do formiranja kompaktnog sloja lijepljenja.

5.2. Postupak pripreme uzoraka

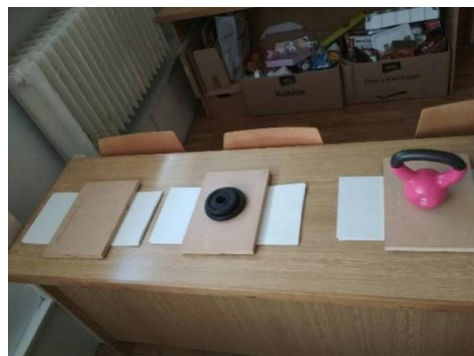
Za pripremu uzoraka koriste se materijali (papiri i kartoni) formata A4 (297 x 210 mm) koje je potrebno izrezati na listove dimenzija 210 x 210 mm. Za svaku vrstu papira i kartona listovi ovih dimenzija izrezuju se za uzdužni i poprečni smjer (MD – machine

direction i CD – cross direction) te ih se označuje. Od svake vrste materijala potrebno je pripremiti po dva lista za svaki smjer, dakle 4 primjerka. Nakon označavanja uzoraka slijedi njihovo žlijebljenje na uređaju za žlijebljenje, kako bi se odredila površina na koju se nanosi ljepilo, na način da je žlijeb udaljen 4 centimetra od ruba papira. Ovaj postupak ponavljamo tri puta kako bismo dobili uzorke za tri promjene pritiska (1 kg, 2,5 kg i 4 kg). Slijedi predkondicioniranje uzoraka na radnu temperaturu prema TAPPI standardu T 402 na minimalno 24 sata. Nakon predkondicioniranja slijedi izrada uzoraka slijepljenih spojeva. Nanošenje lijepila kistom provodi se po točno definiranom procesu (namazati paralelno s žlijebom, okomito na žlijeb skinuti višak ljepila, veličina kista 18). Nakon što smo jednustranicu namazali ljepilom, drugu samo naslonimo kako bi formirali uzorke za peel test (žlijeb na žlijeb).



Slika 7.: Pripremljeni i označeni uzorci papira

Uzorke stavljamo na prešanje. Skupinu uzoraka stavljamo na prešanje uz pritisak od 1 kg, drugu skupinu na pritisak od 2,5 kg i treću na 4 kg. Prešanje traje 20 h, nakon čega uklanjamo utege te puštamo uzorke da se još 24 h suše u standardnim uvjetima.



Slika 7 i 8.: Uzorci papira pod različitim pritiscima

Slijedi priprema uzoraka u dimenzijama za peel test (135 x 15 mm, dimenzije slijepljenog spoja su 20 x 15 mm). Prvo vršimo obrezivanje slijepljenih listova (po 7,5 mm s lijeve i desne strane, te 2 cm na mjestu slijepljenog spoja; ostatak se reže na 135 mm). Slijedi rezanje 13 trakica za svaku vrstu materijala, u 2 smjera i označavanje uzoraka. Ponavljamo to tri puta (za tri promjene težine



Slika 9.: Primjer izrezanog uzorka kartona GC1 u dimenzijama (135 x 15 mm)

5.3. Opis ispitivanja

Za ispitivanje čvrstoće se koristi kidalici Enrico Toniolo Dynamometer Tensomini Supersa brzinom kidanja koja je konstantna kod svih ispitanih uzoraka, a iznosi 2/90. Ispituje se minimalno 10 uzoraka za svaki smjer vlaknaca. Peel test provodimo za tri promjene težine koje iznose (1 kg, 2,5 kg, 4 kg).



Slika 10.: Provođenje testa ljuštenja na kidalici.

Nakon dobivenih rezultata vršimo analizu i odabir evaluaciju dobivenih rezultata. Očitavamo vrijednost čvrstoće spojeva na tri decimale, a prekidna sila je izražena u njutnima (N). Zbog utjecaja velikog broja parametara, kao što su struktura i sastav papira koji nije jednoličan kroz cijeli uzorak te ručnog nanošenja ljepila kistom, očekivani koeficijent varijacije za sve adhezijske testove je dosta velik, između 20 do 30%. Iz tog razloga koristili smo nekoliko tehnika reduciranja podataka. Napravili smo selekciju rezultata na temelju koeficijenata varijacije (do 15%) i medijana.



Slika 11.: Prikaz uzorka nakon provedenog testa ljuštenja

5.4. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama od 4 do 6 te prikazuju prekidne sile koje su bile potrebne da bi došlo do ljuštenja lijepljenog spoja kod pojedinog uzorka, aritmetičku sredinu prekidne sile ($\bar{x}$), standardnu devijaciju (σ), medijan (C) te koeficijent varijacije (V). Prikaz rezultata koncipiran je na način da se za svaku pojedinu pritisnu silu prešanja pokažu mjerenja za sve vrste papira i kartona.

Tablica 4.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlaknaca na pritisnoj sili od 1 kg.

Prešanje uz pritisak od 1 Kg						
	PAPIR: RO		PAPIR: R100		KARTON: GC1	
Rd. broj	MD	CD	MD	CD	MD	CD
1	2,73	1,34	2,56	1,49	6,98	4,55
2	2,79	1,35	2,61	1,59	7,57	4,91
3	2,85	1,39	2,73	1,59	7,89	5,24
4	2,85	1,57	2,74	1,64	8,39	5,45
5	2,92	1,57	2,86	1,65	8,58	5,67
6	2,99	1,61	3,00	1,68	8,64	5,83
7	3,00	1,84	3,17	1,70	8,83	5,90
8	3,04	2,02	3,23	1,75	9,21	6,22
X	2,90	1,59	2,86	1,63	8,26	5,47
σ	0,10	0,23	0,23	0,07	0,68	0,52
C	2,89	1,57	2,80	1,64	8,49	5,56
V	3,58	14,21	8,15	4,49	8,27	9,43

Tablica 5.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlaknaca na pritisnoj sili od 2,5 kg.

Prešanje uz pritisak od 2,5 Kg						
	PAPIR: RO		PAPIR: R100		KARTON: GC1	
Rd. broj	MD	CD	MD	CD	MD	CD
1	2,71	1,79	2,81	1,67	6,80	6,17
2	2,71	1,82	2,84	1,69	7,95	6,50
3	2,87	1,85	2,88	1,69	8,41	6,65
4	2,99	1,94	2,89	1,76	8,76	6,74
5	3,22	1,99	3,10	1,83	8,97	6,89
6	3,36	2,05	3,14	1,85	9,45	7,08
7	3,47	2,12	3,22	1,95	10,03	7,16
8	3,48	2,26	3,28	1,31	11,01	7,38
X	3,10	1,97	3,02	1,80	8,92	6,82
σ	0,30	0,15	0,17	0,11	1,20	0,36
C	3,10	1,96	2,99	1,79	8,86	6,81
V	9,72	7,68	5,84	6,46	13,53	5,35

Tablica 6.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlaknaca na pritisnoj sili od 4 kg.

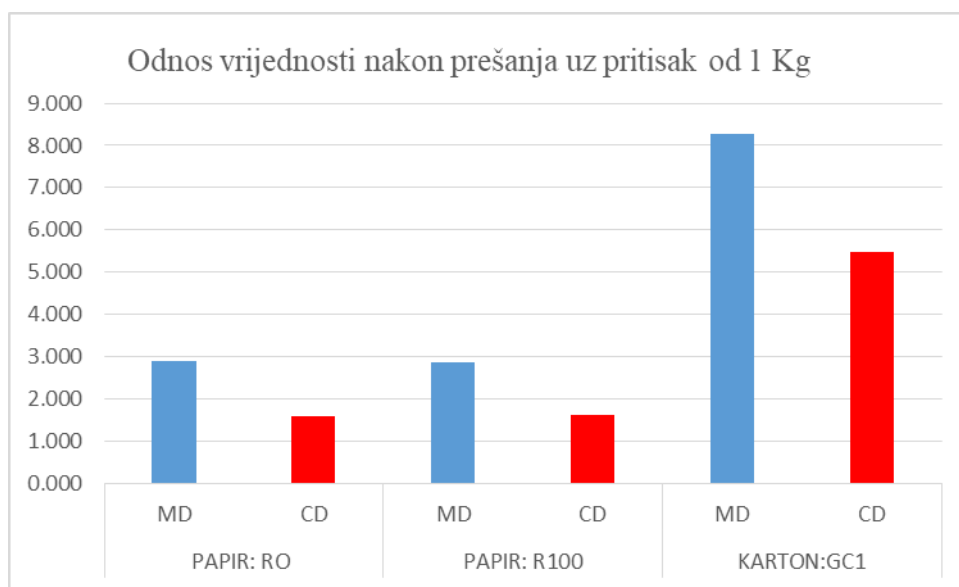
Prešanje uz pritisak od 4 Kg						
	PAPIR: RO		PAPIR: R100		KARTON: GC1	
Rd. broj	MD	CD	MD	CD	MD	CD
1	2,79	1,56	2,65	1,58	8,03	5,74
2	2,87	1,68	2,72	1,63	8,41	5,80
3	2,93	1,82	2,77	1,69	9,08	7,37
4	3,00	1,85	2,86	1,72	9,11	7,47
5	3,02	1,92	2,94	1,72	9,22	7,68
6	3,09	1,97	2,98	1,80	9,42	7,82
7	3,21	2,03	3,09	1,80	9,55	8,88
8	3,40	2,22	3,32	1,89	9,83	9,14
X	3,04	1,88	2,92	1,73	9,08	7,49
σ	0,18	0,19	0,20	0,09	0,55	1,15
C	3,01	1,88	2,90	1,72	9,16	7,57
V	6,00	10,08	6,89	5,28	6,12	15,44

5.5 Diskusija rezultata

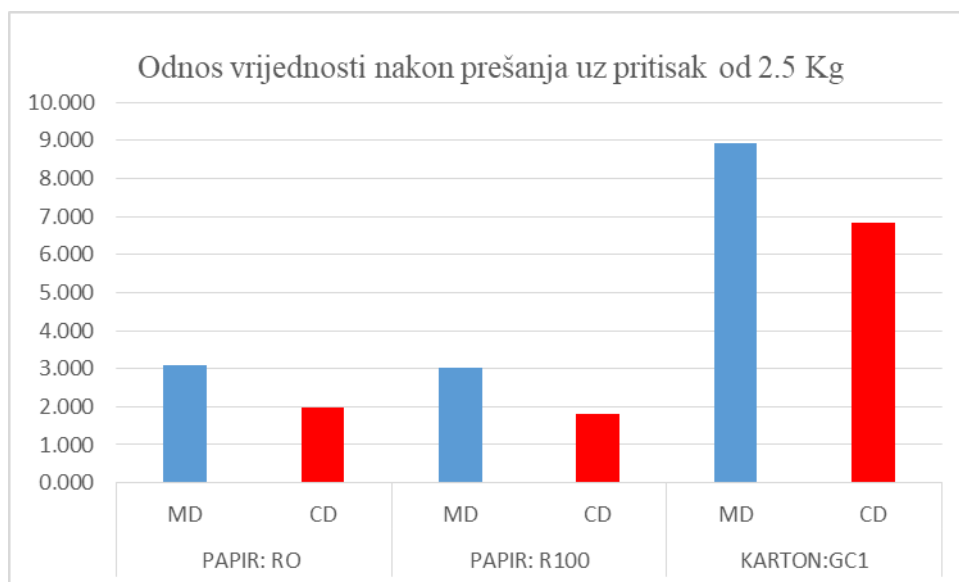
Diskusiju ćemo započeti s usporedbom vrijednosti čvrstoće ispitivanih spojeva u oba smjera. Što se tiče dobivenih vrijednosti ispitivanih spojeva, te vrijednosti i njihove odnose vidimo na grafikonima od 1. do 3. za svaku pojedinu silu pritiska.

Tablica 7.:Aritmetička sredina rezultata korištenih materijala za smjerove MD/CD.

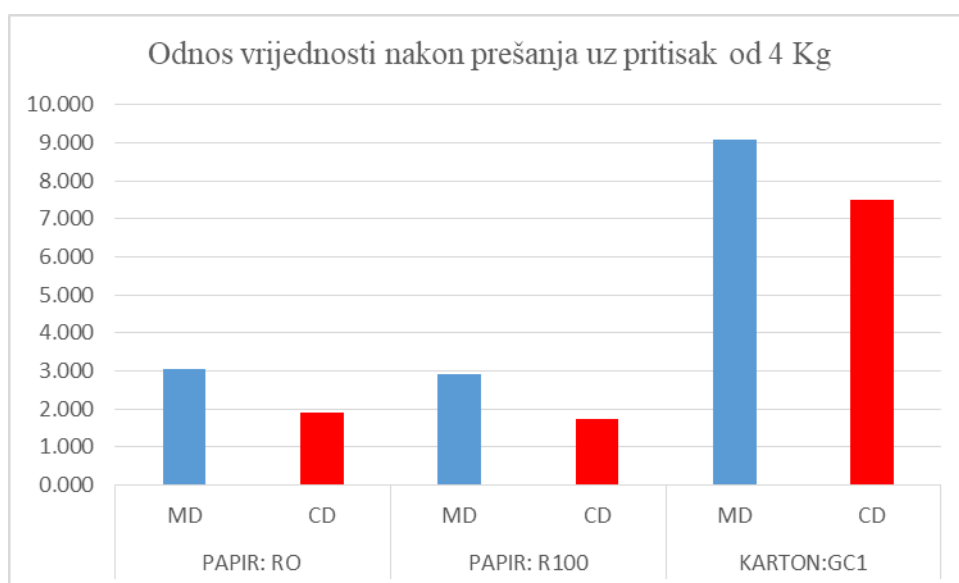
	MACHINE DIRECTION			CROSS DIRECTION		
	1 kg	2,5 kg	4kg	1 kg	2,5 kg	4 kg
RO	2,89	3,10	3,04	1,58	1,97	1,88
R100	2,90	3,02	2,92	1,65	1,80	1,73
GC1	8,26	8,92	9,08	5,47	6,82	7,49



Grafikon 1.:Odnos dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlakana na pritisnoj sili od 1 kg.



Grafikon 2.:Odnos dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlaknaca na pritisnoj sili od 2,5 kg.



Grafikon 3.:Odnos dobivenih vrijednosti kod papira i kartona za oba smjera toka vlaknaca na pritisnoj sili od 4 kg.

Iz grafikona je vidljivo da je kod svih vrsta papira nakon svakog vremena prešanja veća čvrstoća lijepljenog spoja u MD smjeru toka vlaknaca nego u CD smjeru. Što se tiče kartona, također se može zaključiti da je čvrstoća bolja u MD smjeru. Kako bismo objasnili zašto su rezultati ispitanih uzoraka bolji u MD smjeru toka vlaknaca za obje vrste materijala, moramo se osvrnuti na samu proizvodnju papira i kartona. Naime, kod proizvodnje papira i kartona, vlaknaca pulpe koja se nalijeva na sito koje se kreće u smjeru izrade papirne ili kartonske trake u većem se broju orijentiraju u tom istom smjeru. Stoga se kod gotovog papira i kartona taj smjer naziva uzdužni smjer toka vlaknaca (MD). Kod toga smjera izražena je veća krutost materijala pa je samim time veća otpornost na kidanje i savijanje.

Očigledno je da je veća otpornost na kidanje i krutost materijala utjecala i na dobivene rezultate, jer je sama kvaliteta materijala jedan od glavnih faktora koji utječu na čvrstoću lijepljenog spoja.

Nakon toga, uzimamo pritisak od 1 kg kao referentnu točku i opisno analiziramo odnose rezultata 1 – 2,5 kg te 2,5 – 4 kg + 1 – 4 kg. Iz te tablice 8 vidimo da se za sve papire u oba smjera pritisak od 2,5 kg pokazao kao najbolji, te da je pritisak od 4 kg bolji od pritiska od 1 kg. Za kartone vrijedi da povećanjem pritiska dobivamo veću kvalitetu. Time smo dokazali bitnost ovog istraživanja i važnost pronalaska optimalnog pritiska prilikom provedbe ispitivanja čvrstoće lijepljenih spojeva i izrade gotovih proizvoda.

Tablica 8.: Opisni prikaz odnosa među rezultatima.

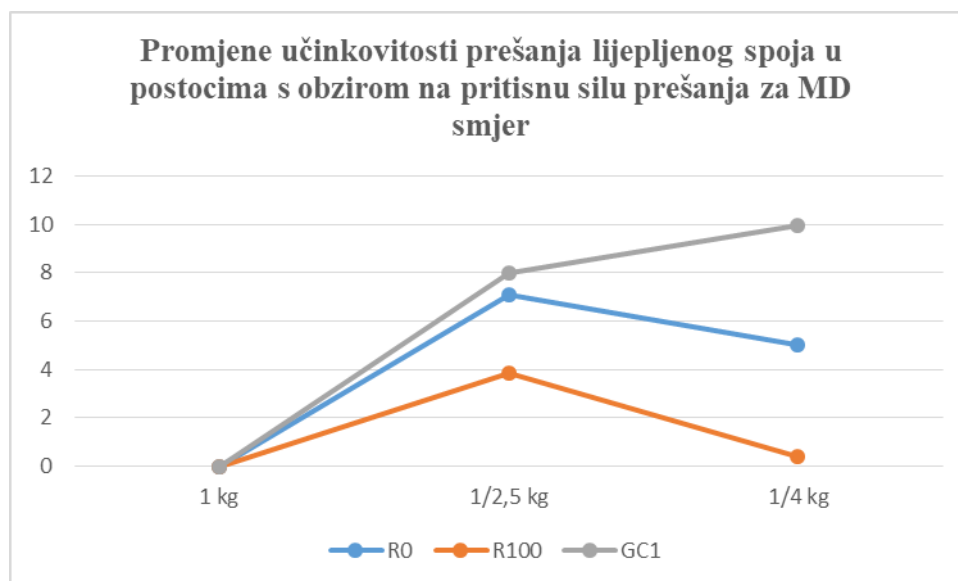
	MACHINE DIRECTION			CROSS DIRECTION		
	1 kg	1/2,5 kg	2,5/4-1/4 kg	1 kg	1/2,5 kg	2,5/4-1/4 kg
RO	ref	p	s – p	ref	p	s – p
R100	ref	p	s – p	ref	p	s – p
C1	ref	p	s – p	ref	p	s – p

LEGENDA	p	povećanje
	s	smanjenje
	ref 1	referentna vrijednost od 1 kg
	1/2,5	odnos između 1 i 2,5 kg
	2,5/4	odnos između 2,5 i 4 kg
	1-Apr	odnos između 1 i 4 kg

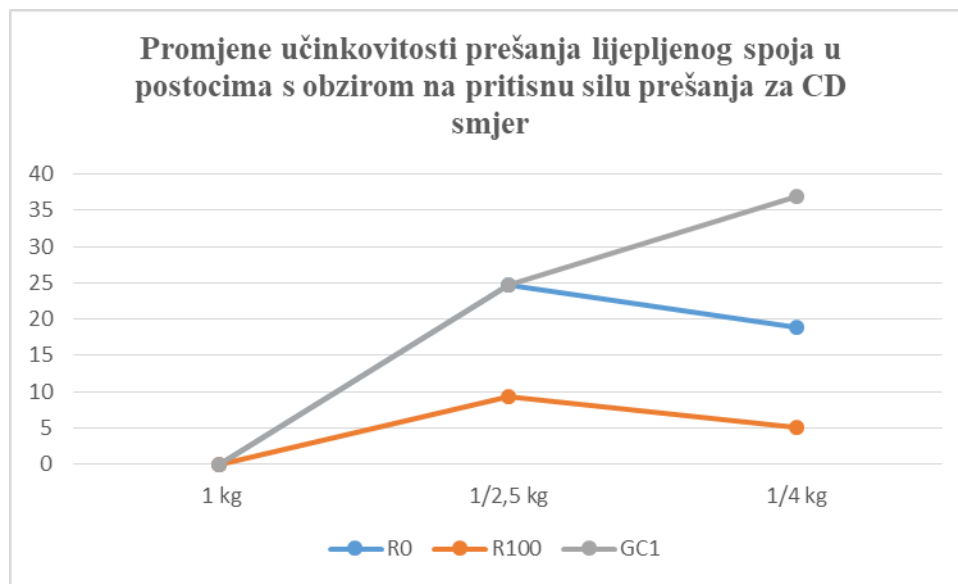
Posljednja tablica nam brojčano prikazuje koliko se učinkovitost promijenila nakon promjene težine od 1 kg na 2,5 kg odnosno 4 kg. Slijedi objašnjenje grafičkim prikazom.

Tablica 9.:Prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja s obzirom na pritisnu silu prešanja kod papira i kartona izraženima u postocima

	MACHINE DIRECTION			CROSS DIRECTION		
	1 kg	1/2,5 kg	1/4 kg	1 kg	1/2,5 kg	1/4 kg
RO	ref	7,07	5,00	ref	24,63	18,84
R100	ref	3,85	0,41	ref	9,27	5,15
C1	ref	8,00	9,97	ref	24,71	36,95



Grafikon 4.:Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 10. kod papira i kartona za MD smjer



Grafikon 5.: Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 10. kod papira i kartona za CD smjer

Grafikonima (4. i 5.) prikazane su promjene učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja u postocima za MD i CD smjer. Uzeli smo pritisak od 1 kg kao referentnu točku i opisno tome analizirali odnose između 1 – 2,5 kg te 1 – 4 kg. Za papir R0 u MD i CD smjerovima iščitavamo da je učinkovitost veća u odnosu od 1 – 2,5 kg (7,076286 %, 24,63768 %) nego 1 – 4 kg (5,005178 %, 18,84058 %). Slijedi isto za papir R100 da je odnos između 1 -2,5 kg (3,85012 %, 9,272727 %) bolji od 1 – 4 kg (0,412513 % 5,151515 %). U slučaju kartona za MD i CD smjer je obrnuto te se pokazuje da je učinkovitost veća kod omjera 1 – 4 kg (9,973372 %, 36,95851 %) nego kod odnosa 1 – 2,5 kg (8,000484 %, 24,71212 %).

Kartonu kao mehanički čvršćem i žilavijem materijalu potrebna je veća pritisna sila, ali vidimo da kod papira povećanjem sile s 2,5 kg na 4 kg dolazi do smanjenja čvrstoće spoja, što možemo objasniti pojavom puzanja ljepila. Zbog konstantnog opterećenja većom silom, u ovom slučaju došlo je do promjene oblika sloja ljepila i popuštanja veze među molekulama polimera što je direktno utjecalo na smanjenje čvrstoće pri većem opterećenju.

6. ZAKLJUČAK

Za dobivanje kvalitetnih gotovih proizvoda u grafičkoj industriji provođenje testova adhezije je neophodno kod proučavanja načina sljepljivanja materijala. Ispitivanja sila adhezije vrlo su složena i neusporediva među laboratorijima radi brojnih faktora koji utječu na same materijale i njihove spojeve. Radi toga je potrebno utjecajne faktore održavat na istim uvjetima tokom cijelog eksperimentalnog postupka.

Nakon dobivenih rezultata ispitanih spojeva i njihove analize, zaključujemo da je u slučaju papira najbolja čvrstoća postignuta pri pritisknoj sili od 2,5 kg uzevši u obzir jednaka vremena sušenja svih proizvoda. Stoga je vrlo važno naći optimalnu pritisnu silu s kojom ćemo djelovati na određeni proizvod, jer su se u ovom slučaju pritisne sile od 1 kg i od 4 kg pokazale kao lošije. Stoga zaključujemo da povećanjem pritisne sile ne mora doći i veća kvaliteta čvrstoće lijepljenog proizvoda nego je potrebo provest testiranje da se dođe do optimalnog rješenja.

U slučaju provedenog testiranja za karton dolazimo do rješenja da iz pritisne sile od 4 kg dobivamo najveću čvrstoću samog proizvoda. Stoga iz ovog testiranja proizlazi da povećanjem pritisne sile u oba smjera MD i CD dobiva se kvalitetniji i čvršći proizvod. Jedan od osnovnih sirovina kartona pri proizvodnji su su vlakna drvenjače koja mu daju veću žilavost i čvrstoću što ga čini čvršćim u odnosu na papir.

Eksperimentalnim dijelom smo skrenuli pozornost na važnost pritisne sile kojom djelujemo na materijale prilikom lijepljenja. Ispitivanjem smo došli do zaključka da je u slučaju papira najbolja pritisna sila 2,5 kg dok je kod kartona 4 kg. Ovo istraživanje vrijedi kako u uzdužnom smjeru toka vlakanaca tako i u poprečnom smjeru toka vlakanaca. Rezultati nam pokazuju isto da karton ima veću sastavnu čvrstoću od papira u svim slučajevima.

Dobivene rezultate koji daju optimalne uvjete sušenja i prešanja možemo koristiti u daljnje svrhe ispitivanja adhezijskih spojeva pri korištenju istih materijal.

7. LITERATURA

- [1] Golubović, Adrijano (1993.), *Svojstva i ispitivanje papira*, Hrvatska tiskara, Zagreb
- [2] Potisk, Vinko (1997.) *Grafička dorada*, Školskaknjiga, Zagreb
- [3] Novaković Dragoljub (2011.) *Obradni postupci povezivanja i spajanja materijala lepljenjem brošure*, Srbija; dostupna: <https://www.scribd.com/document/238432917/Spajanje-i-Lepljenje>, Pristupljeno: 4.9.2017.
- [4] Gojić, Mirko (2008.), *Tehnike spajanja i razdvajanja materijala*, Sisak; Metalurški fakultet
- [5] Petrović, Marijana (2011.), *Čvrstoća knjige u ovisnosti odnosa papira i ljepila*, Diplomski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [6] Ebnesajjad Sina, Landrock H. Arthur (2008.) *Adhesives Technology Handbook*, William Andrew, USA
- [7] Bustos C., Mohammad M., Hernandez E. R., Beauregard R. (2003.) *Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-joined black spruce lumber*; dostupna: <http://www.cibisa.ulaval.ca/Publications/Effects%20of%20curing%20time%20and.pdf>, Pristupljeno: 4.9. 2017.
- [8] Testiranja <http://www.testresources.net/>, Pristupljeno: 4.9.2017.
- [9] Petrie E., Bookbinding Adhesives; dostupna: <http://www.adhesivesmag.com>, Pristupljeno: 1.9.2017..
- [10] Bujanić B., MagdalenićBujanić J. *Mehanizmi stvaranja lijepljenog spoja*; dostupna: hrcak.srce.hr/file/124722; Pristupljeno: 4.9. 2017.
- [11] <http://www.enciklopedija.hr>, Pristupljeno: 1.9. 2017