

# Utjecaj trajanja procesa prešanja na čvrstoću lijepljenog spoja

---

**Badenić Jug, Marina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:216:448235>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# ZAVRŠNI RAD

Marina Badenić Jug

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

# ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ TRAJANJA PROCESA PREŠANJA NA  
ČVRSTOĆU LIJEPLJENOG SPOJA

Mentor:

Doc.dr.sc. Suzana Pasanec Preprotić

Studentica:

Marina Badenić Jug

Zagreb, 2017.

## **SAŽETAK**

U radu se ispituje čvrstoća lijepljenog spoja ovisno o vremenu sušenja i prešanja, što je osnovni cilj ovog završnog rada. Za provođenje ispitivanja koristi se PVAc Signakol L ljepilo izrađena na bazi vodene disperzije polivinilacetata uz dodatak aditiva. Ispitivanje se provodi na tri vrste papira i tri vrste kartona različitih karakteristika. Test ljuštenja izvodi se na kidalici tvrtke Enrico Toniolo, Dynamometer Tensomini Super. Ispitivanje se vrši na 13 uzoraka za svaku vrstu papira i kartona te za oba smjera toka vlakana. Nakon izvršenih mjerenja na kidalici i sistematizacije dobivenih vrijednosti, vrijednosti će se brojčano i grafički međusobno usporediti. Dobiveni rezultati ispitivanjem doveli su do zaključka da je u slučaju ispitanih papira najbolje vrijeme za sušenje i prešanje jedan sat, dok je to kod kartona 12 sati. Rezultati provedenog ispitivanja daju optimalni uvjeti sušenja i prešanja lijepljenog spoja u svrhu daljnjih ispitivanja adhezijskih spojeva korištenjem ovih istih materijala.

**KLJUČNE RIJEČI:** PVAc ljepilo, lijepljeni spoj, vrijeme prešanja, vrijeme sušenja, test ljuštenja

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. LJEPILO U GRAFIČKOJ TEHNOLOGIJI .....                            | 2  |
| 1.1. Vrste ljepila .....  | 2  |
| 1.1.1. Škrobna ljepila .....  | 2  |
| 1.1.2. Glutaminsko ljepilo (tutkalo).....                           | 3  |
| 1.1.3. Kazeinsko ljepilo .....                                      | 3  |
| 1.1.4. Vodeno staklo .....  | 3  |
| 1.1.5. Karboksimetilcelulozno ljepilo.....                          | 3  |
| 1.1.6. Sulfitno ljepilo .....                                       | 4  |
| 1.1.7. Polivinil-acetat emulzije (PVAc).....                        | 4  |
| 1.1.8. Hot – melt ljepila (EVA) .....                               | 6  |
| 1.1.9. Poliuretanska ljepila (PUR) .....                            | 7  |
| 2. FORMIRANJE LJEPLJIVOG SPOJA.....                                 | 8  |
| 2.1. Sile adhezije .....  | 8  |
| 2.2. Sile kohezije .....  | 9  |
| 3. UTJECAJNI FAKTORI NA KVALITETU I ČVRSTOĆU LIJEPLJENOG SPOJA..... | 10 |
| 3.1. Utjecaj svojstva ljepila .....                                 | 10 |
| 3.1.1. Viskoznost .....   | 10 |
| 3.1.2. Stupanj kristalnosti strukture .....                         | 10 |
| 3.1.3. Puzanje.....   | 10 |
| 3.1.4. Homogenost spoja.....  | 11 |
| 3.2. Močenje površine .....   | 11 |
| 3.3. Površinska energija .....                                      | 11 |
| 3.4. Debljina sloja ljepila .....                                   | 12 |
| 3.5. Veličina površine lijepljenja .....                            | 12 |
| 3.6. Vrijeme prešanja i sušenja .....                               | 12 |
| 4. TESTOVI ISPITIVANJA KVALITETE LIJEPLJENIH SPOJEVA.....           | 14 |
| 4.1. Testovi ljuštenja .....  | 14 |
| 4.2. Test kompresije .....  | 17 |
| 4.3. Test cijepanja .....   | 17 |
| 4.4. Test istezanja.....  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| 4.5. Test smicanja .....                  | 18 |
| 4.6. Test vezivanja .....                 | 19 |
| 6. EKSPERIMENTALNI DIO .....              | 20 |
| 6.1. Pristup problemu.....                | 20 |
| 6.2. Korišteni materijali i uređaji ..... | 20 |
| 6.3. Postupak pripreme uzoraka.....       | 22 |
| 6.4. Opis ispitivanja .....               | 23 |
| 6.5. Rezultati ispitivanja .....          | 25 |
| 6.6. Diskusija rezultata.....             | 31 |
| 7. ZAKLJUČAK.....                         | 46 |
| 8. LITERATURA .....                       | 48 |

## 1. UVOD

Lijepljenje je spajanje dvaju ili više istovrsnih ili različitih materijala adhezijom trećega kojeg nazivamo ljepilo. Da bi se lijepljenje moglo obaviti, ljepilo mora imati svojstvo adhezije prema materijalu koji se lijepi, dok sam materijal mora imati dostatnu koheziju i stabilnost da bi veza između slijepljenog materijala bila trajna i čvrsta.

Faktori poput vremena i uvijeta sušenja, jačine i vremena opterećenja te otvorenog vremena sušenja tijekom spajanja lijepljenog spoja igraju važnu ulogu u procesu lijepljenja, te na konačnu čvrstoću spoja. 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. 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.

U ovom istraživanju utjecajni faktori na čvrstoću lijepljenog spoja držani su uvijek na istoj razini kako bi se pokušalo odrediti koje je optimalno vrijeme sušenja i prešanja lijepljenog spoja za ispitane vrste materijala. Čvrstoća spoja za svaku vrstu materijala dobivena je mjerenjem prekidne sile koja je bila potrebna da bi došlo do ljuštenja lijepljenog spoja kod pojedinog uzorka. Na temelju dobivenih rezultata dobiveni su optimalni uvjeti sušenja i prešanja za daljnja ispitivanja adhezijskih spojeva korištenjem ovih istih materijala.

## 2. LJEPILA U GRAFIČKOJ TEHNOLOGIJI

Lijepljenje je spajanje dvaju ili više istovrsnih ili različitih materijala adhezijom trećega kojeg nazivamo ljepilo. [1] Da bi se lijepljenje moglo obaviti, ljepilo mora imati svojstvo adhezije prema materijalu koji se lijepi, dok sam materijal mora imati dostatnu koheziju i stabilnost da bi veza između slijepljenog materijala bila trajna i čvrsta. Nadalje, uslijed 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. 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.

### 1.1. Vrste ljepila

U grafičkoj industriji rabe se mnogobrojna ljepila različitih svojstava, predviđena za razne namjene, a na tržištu su pod različitim komercijalnim nazivima.

#### 1.1.1. Škrobna ljepila

Škrob za proizvodnju ljepila može se dobiti od krumpira, pšenice, ječma, riže, kukuruza, pago-palme i korijena nekih tropskih biljaka. [1] Sviježi škrob je prašak bez okusa i mirisa, bijele boje te vrlo hidroskopan. Nije prikladan za duže skladištenje te se u hladnoj vodi rastvara, u toploj bubri, a razgrađuje se djelovanjem topline.

Što se tiče neutralnog škrobnog ljepila, na ljepljivost može utjecati predugo kuhanje i prejako razrjeđivanje, a s vremenom se i kvari. Lako se premazuje i osušeno daje elastične spojeve, sporo lijepi pa se rabi i za kaširanje u kartonaži.

Alkalno škrobno ljepilo nastaje prelijevanjem škroba razrijeđenom lužinom.[1] Ova vrsta ljepila nastaje bez zagrijavanja zbog toga što brzo bubri. Razlikuje se od neutralnog po tome što se lakše i dulje razvlači te ima veću sposobnost lijepljenja.

Dekstrinska ljepila imaju dobru sposobnost lijepljenja i pogodna su za deblje papire i kartone jer se brzo suše. No, zbog toga je premaz krhkiji i tvrdi. Koriste se za lijepljenje etiketa i kartona, kao fotoljepila i ljepila za gumiranje.



Postoje i biljna ljepila koja se dobivaju kemijskom razgradnjom škroba pri sobnoj temperaturi, uglavnom u tvornicama, i ona lijepe brže od ostalih škrobnih ljepila.

#### 1.1.2. Glutaminsko ljepilo (tutkalo)

U glutaminsko ljepilo 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. U životinjskim kožama, kostima i otpacima nalazi se bjelančevina kolagen koja je netopiva u vodi. No, dugim zagrijavanjem kolagen prelazi u glutamin, bjelančevinu koja je topljiva u vodi i ima ljepljiva svojstva. [1]

#### 1.1.3. 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, hidroskopian je i upija vlagu iz zraka. Za otapanje kazeina koriste se boraks, otopina amonijaka, soda, gašeno vapno ili vodeno staklo. Prednost se daje prvim dvjema tvarima za otapanje jer daju malu alkalnost, pa se time sprječavaju neka negativna svojstva ljepila. [1] Potrebno ga je zaštititi dodacima za konzerviranje kako bi se spriječilo kvarenje.

#### 1.1.4. Vodeno staklo

Vodeno staklo odnosno natrij - silikat je kvalitetno, postojano i jeftino ljepilo koje se koristi u proizvodnji valovitog kartona. No, valoviti karton koji je namijenjen proizvodnji kutija za prehrambene proizvode ne smije se lijepiti ovim ljepilom jer je štetno za zdravlje. Nedostatak vodenog stakla je što djelomično oštećuje metalne dijelove stroja.

#### 1.1.5. Karboksimetilcelulozno ljepilo

Ova vrsta ljepila zamjenjuje škrobno ljepilo, a rabi 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.[1]

### 1.1.6. 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, odmočeno koštano ljepilo kalcij – klorida i magnezijeve soli. Rabi se kod sastavljanja cijelopapirnih i cijeloplastnenih korica i kod lijepljenja korica od raznovrsnih imitacija.[1]

### 1.1.7. Polivinil-acetat emulzije (PVAc)

PVAc spada u disperzijska ljepila koja definiramo kao heterogene sustave koji sadrže čvrstu i tekuću komponentu s udjelom čvrste komponente od 40 do 80%. Polivinil-acetat emulzije su disperzije hladnog ljepila s oko 50 posto suhe tvari. PVAc je polimer vinil-acetata dobiven polimerizacijom monomera u vodi. Disperzijska ljepila su hladna ljepila odnosno primjenjuju se na temperaturama od 18°C do 25°C. Vrijeme aplikacije disperzijskih ljepila određeno je apsorpcijom ili isparavanjem vode koju sadrži.

Povoljne osobine takvih ljepila su elastičnost filma, otpornost na starenje, mogućnost upotrebe na sobnim temperaturama, povoljan viskozitet, dobra adhezija, mogućnost strojnog i ručnog nanošenja, ekonomičnost naspram drugih ljepila. Nedostatak disperzijskih ljepila je dugo vrijeme sušenja, što produžuje proces proizvodnje jer su potrebna 3 do 4 sata do mogućnosti obrezivanja.

Ova vrsta ljepila stvara čvrstu vezu u 4 faze [2]:

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

Polivinil-acetatne emulzije sadrže razne dodatke koji im se dodaju kako bi se dobila ljepila za posebne namjene. U tablici 1. Navedena su opća svojstva PVAc ljepila:

Tablica 1.: Opća svojstva PVAc ljepila

| SVOJSTVA                               | JEDINICA               |
|--|------------------------|
| Gustoća                                | 1100 kg/m <sup>3</sup> |
| 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                    |

### 1.1.7.1. 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, davanjem 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, osigurati 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. [7] To dovodi do 100 posto povećanja pull- test vrijednosti. Premda to povećanje snage postaje stabilno s vremenom, gubitak plastifikatora može biti štetno za druga svojstva, poput otpornosti na hladnoću i fleksibilnost.

Otapala na svojstva PVAc ljepila djeluju slično kao i omekšivači, no njihov je učinak privremen. Visoko kompatibilna otapala s PVAc ljepilom snižavaju temperaturu potrebnu za stvaranje filma ljepila i to dovodi do stvaranja homogenog filma. S obzirom na to da otapalo u konačnici potpuno ishlapi, ne utječe na mehanička svojstva ljepila. 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. Udio punila ima jak utjecaj na kvalitetu i svojstva ljepila jer prevelik udio smanjuje snagu lijepljenja. Za razliku od anorganskih, organska se punila dodaju u malim količinama jer imaju veći utjecaj na smanjenje čvrstoće i povećanje viskoznosti ljepila. 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. Premda 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. No, 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. Uporaba PVAc ljepila nadilazi krugove same grafičke industrije te se može pronaći u graditeljstvu kod polaganja parketa, gradnji mobilnih kućica, lijepljenju drvo o drvo, proizvodnji namještaja, stolarskim obrtima, domaćinstvima, umjetnosti i šire.

#### 1.1.8. 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, lijepljiva

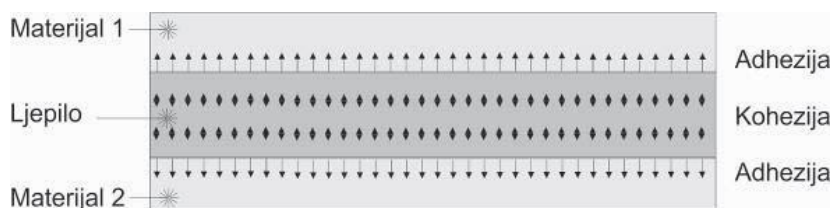
smola i vosak. No, tu su još i antioksidansi koji služe za toplinsku stabilizaciju. EVA hot – melt ljepila standardna su ljepila koja se koriste kod tradicionalnog mekog uveza. Kao takva dostupna su u nebrojenim formulacijama, ovisno o željenim svojstvima, premda su im neke karakteristike zajedničke. S obzirom na neke moderne formulacije, 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. Povoljna su za projekte koji nemaju teške stranice i koje će padati daleko od linije veza nakon dugotrajnog korištenja, poput stolnih kalendara i blokova.

#### 1.1.9. Poliuretanska ljepila (PUR)

Specijalno ljepilo koje je slično hot – melt ljepilu i glavni je predstavnik termoreaktivnih ljepila u grafičkoj industriji. Proizvodi se od poliuretanskog 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. No, PUR ljepila trebaju najmanje šest sati za sušenje, stoga knjige ljepljene ovim ljepilom moraju ostati izložene prirodnom zraku, jer kemikalije u ljepilu suše upijanjem vlage iz zraka. Drži ih se za najfleksibilnija i najizdržljivija ljepila za uvezivanje na tržištu. To 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. Knjige uvezane PUR ljepilom gotovo se ne mogu raspasti, čak niti kod učestalog korištenja u najzahtjevnijim uvjetima. Hrbat knjige koja je ljepljena ovim ljepilom zahtjeva manju pripremu od knjiga ljepljenih drugim vrstama ljepila. Što se tiče pull – testa kod knjiga ljepljenih PUR ljepilom, rezultati su bolji do dva i pol puta u odnosu na rezultate kod standardnog EVA ljepila za meki uvez. Isto tako, testovi simuliranih uvjeta starenja pokazuju da PUR ljepilo traje daleko dulje od papira.

## 2. FORMIRANJE LJEPLJIVOG SPOJA

Procesi stvaranja spoja pri lijepljenju temelje se na međusobnim kemijskim i fizikalnim djelovanjima između molekula ljepila i molekula na površini koja se lijepi. [3] Adhezija je pojava međusobnog privlačenja površina dvaju tijela načinjenih od različitih tvari zbog djelovanja elektromagnetskih sila među molekulama. [8] Privlačne sile su kratkog doseg a vrijednost im ovisi o vrsti tvari u dodiru, a prijanjanje je izraženije ako je jedna od tvari tekućina. Kohezija je međumolekularna sila koja djeluje između susjednih čestica tvari. [8] Najjača je u tvarima koje su u čvrstom stanju, poput metala, slabija u tekućinama i najslabija kod plinova. Ako se već u pripremi materijala za lijepljenje postignu optimalne adhezijske sile, tada je kohezijska čvrstoća lijepljenog spoja odlučujući kriterij za njegovu čvrstoću. Sile adhezije i kohezije su ključne za formiranje ljepljivog spoja u procesu lijepljenja dvaju istovrsnih ili raznovrsnih materijala.



Slika 1.: Djelovanje sila kod lijepljenog spoja [3]

### 2.1. Sile adhezije

Adhezija može uključivati kemijsko ili fizikalno povezivanje dviju površina. Kemijsko povezivanje ljepila i površine materijala objašnjava se stvaranjem primarnih kemijskih veza duž površine dodira. Fizikalno povezivanje može rezultirati adsorpcijom koja je najvažniji mehanizam za postizanje adhezije. Adsorpcija je proces pri kojem se na površinu krutog tijela privlače čestice plina ili tekućine. Uvjet za dobru adsorpciju je dobro močenje površine. Močenje je i prvi uvjet da bi se postigao dobro lijepljeni spoj te ga treba promatrati kao ostvarenje kontakata dodirnih površina dijelova koji se spajaju i ljepila.

Nadalje, može doći do mehaničkog sidrenja, procesa u kojem kod ulaska ljepila u pore, udubine i ostale nepravilnosti površine dolazi do mehaničkog povezivanja ljepila i

površine materijala. Zadovoljavanjem sljedećih uvjeta dolazi do mehaničkog sidrenja [3]:

- a) Ljepilo mora dobro močiti površinu dijela
- b) Ljepilo mora biti dovoljno niske viskoznosti da može lagano popuniti šupljine i iz njih istisnuti zrak

Proces difuzije zahtjeva kompatibilnost ljepila i materijala dijela koji se lijepi, u protivnom ostvarivanje veze difuzijom nije moguće. Do ostvarivanja veze ne dolazi i ako je gibanje molekularnih lanaca ograničeno ili onemogućeno. Činitelji koji utječu na proces difuzije su vrijeme dodira, temperatura, molekularna masa i stanje ljepila. U slučaju elektrostatičkog povezivanja razlika u elektronegativnosti između ljepila i materijala dijela koji se lijepi dovodi do stvaranja elektrostatičkih sila koje svojim djelovanjem doprinose čvrstoći lijepljenog spoja.

## 2.2. Sile kohezije

Kohezija je privlačna međuatomska ili međumolekularna sila koja djeluje između susjednih čestica tvari. [8] Najznačajniji rezultat djelovanja kohezijskih sila je napetost površine. O površinskoj napetosti, odnosno slobodnoj površinskoj energiji ovisi hoće li se neki materijal lakše ili teže zalijepiti. Površinska napetost je nastojanje kapljevine ili čvrstog tijela da postigne što povoljnije energetske stanje smanjenjem slobodne površine. Molekule koje se nalaze u unutrašnjosti kapljevine ili čvrstog tijela svojim privlačnim silama privlače molekule sa površine. Na taj način smanjuju broj onih molekula koje ostaju na površini, oko kojih se stvara dodatni prostor, i tako molekule na površini postižu veću energiju. Količina energije koju sadrže molekule na površini ima glavnu ulogu u tome, hoće li sposobnost nekog tijela za lijepljenje biti velika ili mala. Slobodna energija lijepljenog materijala mora biti veća ili barem jednaka slobodnoj energiji ljepila, da bi se ostvarilo uspješno lijepljenje. Polimerni materijali imaju male vrijednosti slobodne površinske energije, što dovodi do toga da se neki polimeri vrlo teško ili nikako ne mogu zalijepiti.

### **3. UTJECAJNI FAKTORI NA KVALITETU I ČVRSTOĆU LIJEPLJENOG SPOJA**

Postoje mnogobrojni faktori koji utječu na kvalitetu i čvrstoću lijepljenog spoja kao što su: svojstva ljepila, močenje, priprema površine za lijepljenje, slobodna (površinska) energija, konstrukcijsko oblikovanje lijepljenih spojeva, debljina sloja ljepila, debljina dijelova koji se lijepe, veličina površine za lijepljenje.

#### **3.1. Utjecaj svojstva ljepila**

Utjecaj svojstva ljepila na kvalitetu lijepljenog spoja ovisi o izboru vrste ljepila. Izbor tipa i oblika ljepila ovisi o izvedbi proizvoda, zahtjevima krajnjeg korištenja i postupku nanošenja ljepila. Kombinacijom sloja ljepila i površine lijepljenja stvaraju se odgovarajuće prijanjajuće sile i svojstva sloja koja su odlučujuća za čvrstoću lijepljenog spoja.

##### **3.1.1. Viskoznost**

Viskoznost je najvažniji kriterij za sposobnost kvašenja ljepila. Viskozno ponašanje bitno je poznavati zbog postizanja ravnomjerne debljine ljepila i kontinuiteta nanesenog sloja ljepila. U slučaju da je viskoznost ljepila premala dodaju se sredstva za njegovo zgušnjavanje, a kad je previsoka dodaju se odgovarajuća otapala kako bi se viskoznost smanjila.

##### **3.1.2. Stupanj kristalnosti strukture**

Stupanj kristalnosti strukture polimernog ljepila bitno utječe na čvrstoću i mehaničke karakteristike sloja ljepila u očvrnutom stanju. Povišeni udio kristalne strukture ljepila povišuje čvrstoću i modul rastezljivosti ljepila u očvrnutom stanju.

##### **3.1.3. Puzanje**

Puzanje 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.



### 3.1.4. Homogenost spoja

U strukturi ljepila u očvrstnutom stanju nastaju razne nepravilnosti do kojih dolazi zbog nakupina zraka ili ostataka otapala. To uzrokuje sniženje čvrstoće lijepljenog spoja. Pri miješanju dvokomponentnih i višekomponentnih, kemijski očvršćujućih ljepila nije uvijek moguće izbjeći nastajanje nakupina zraka. Bez obzira što te nakupine snizuju ukupnu čvrstoću sloja ljepila, čvrstoća ljuštenja se znatno povisuje.

### 3.2. Močenje površine

Sposobnost ljepila da ostvari potpuni dodir s obje površine za lijepljenje zove se sposobnost močenja. Stupanj močenja mjeri se kutem močenja. U slučaju kada je kut močenja jednak nuli, kapljevina se slobodno raspršuje po površini i potpuno moči površinu. Kako bi se postiglo da ostvari potpuni dodir s obje površine te da prođe 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.

### 3.3. Površinska energija

Površinska energija označava nastojanje tekućine ili čvrstog tijela da postigne što povoljnije energetske stanje kroz težnju za smanjenjem površine. Jedan je od faktora zašto se neki materijali mogu lijepiti, a drugi se materijali teško lijepe ili ih je nemoguće lijepiti. Na površini tijela ili kapljevine, molekule ili atomi su u drugačijoj okolini nego oni u unutrašnjosti. U unutrašnjosti, molekule su okružene sa svih strana drugim istim molekulama, a prosječne udaljenosti ovise o privlačnim i odbojnim silama drugih molekula. Međutim, molekule na površini nisu jednako privlačene sa svih strana. Privlačne sile molekula u unutrašnjosti nastoje povući molekule sa površine dublje u materijal smanjujući broj molekula na površini. Površinske molekule imaju veću energiju iz razloga što je prostor među njima veći nego kod molekula u unutrašnjosti. Da bi postupak lijepljenja bio uspješan slobodna energija odabranog tipa ljepila mora biti niža ili jednaka slobodnoj energiji materijala koji se lijepe.

### 3.4. 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. Kod prevelike debljine sloja ljepila može doći do porasta momenta savijanja zbog kojeg na krajevima preklapanja dolazi do normalnog naprezanja, odnosno naprezanja zbog ljuštenja, povećanja mogućnosti poprečne kontrakcije (suženja presjeka u odnosu na tanke slojeve ljepila) te pojave stezanja i nehomogenosti.

### 3.5. Veličina površine lijepljenja

Što je veća površina na koju ljepilo prijanja, to ima više adhezijskih veza. Ako ima više adhezijskih veza, to je čvrstoća lijepljenog spoja veća. Stoga se dolazi do zaključka da je za najveću čvrstoću spoja potrebna što veća površina prijanjanja ljepila, koja se postiže pravilnim ohrapljivanjem površine. No, treba biti oprezan prilikom odabira veličine površine lijepljenja, jer prekomjerno povećanje može nepovoljno utjecati na čvrstoću spoja zbog:

- a) smanjenja ravnomjernosti sloja ljepila pri nanošenju;
- b) prilagođavanja dijelova zbog mogućih geometrijskih odstupanja;
- c) ravnomjernosti očvršćivanja ljepila zbog različite razdiobe temperature i neravnomjernog tlaka.

S obzirom na te utjecaje mora se kod većih lijepljenih površina računati s manjom čvrstoćom lijepljenja nego kod manjih lijepljenih površina.

### 3.6. Vrijeme prešanja i sušenja

Što se tiče ovog faktora, naglasit ćemo da je njegov utjecaj na čvrstoću lijepljenog spoja glavni predmet istraživanja ovog završnog rada. S obzirom na to, nećemo ulaziti u dubinu teorijskog sadržaja u ovom dijelu, već ćemo činjenice iznijeti u eksperimentalnom dijelu. Možemo samo spomenuti da 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. [5] 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. 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. Stoga ova vrsta ljepila stvara čvrstu vezu u 4 faze, od kojih je prva početni kontakt pri kojem ljepilo treba prodrijeti što bolje u pore podloge. Zatim dolazi do odstranjivanja vode, odnosno ostanka ljepila između podloga koje se lijepe nakon difuzije vode u iste. Potom dolazi do inicijalnog formiranja filma ljepila te na poslijetku do stvaranje kompaktnog sloja lijepljenja.

#### 4. TESTOVI ISPITIVANJA KVALITETE LIJEPLJENIH SPOJEVA

Svrha ispitivanja ljepila je utvrditi je li neka tvar pogodna za određenu primjenu. Mnogi adhezivi podložni su širokom rasponu sila i naprezanja tijekom životnog vijeka, ali najčešće doživljavaju smicanje, napetost, ljuštenje ili bilo koju kombinaciju navedenog. [6] Ispitivanje ljepila pomoću tih sila otkriva njegovu čvrstoću koja se može sažeti ispitivanjem čvrstoće rastezanja, čvrstoće smicanja i snage koja podliježe neučinkovitosti ako ljepilo ne uspije izdržati testiranje. Tijekom testiranja ljepila pojavit će se jedan od tri kvara. Može doći do odvajanja ljepila u samoj njegovoj strukturi što je uzrokovano lošom kohezijom materijala odnosno ljepila. Može doći i do odvajanja sloja ljepila od materijala na koje je nanese što je uzrokovano lošom adhezijom među materijalima. Osim toga, može se dogoditi i kombinacija nedostataka privlačnih sila u samim materijalima i među lijepljenim komponentama, što znači da imamo i nedostatne sile kohezije i adhezije.

##### 4.1. Testovi ljuštenja

Ispitivanje kod testova ljuštenja obavlja se između dva materijala vezanih zajedno s ljepilom. Materijali mogu biti fleksibilni ili mogu biti jedan fleksibilan, a drugi krut. Samo ljepilo ima oblik tankog sloja između dva materijala. Općenito, cilj testiranja je odrediti lijepljivu čvrstoću materijala ili čvrstoću lijepljive veze između dva materijala. [6] 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 testovi koji spadaju u vlačna ispitivanja. Izvode se na dva fleksibilna materijala koji su spojeni i smješteni u hvataljke za testiranje.

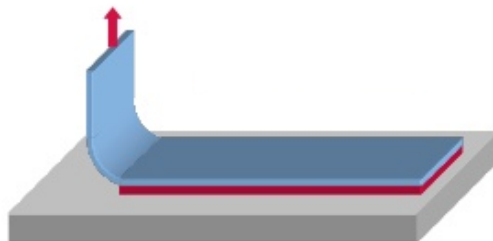
# T-Peel



Slika 2.: Smjer djelovanja sila pri T-Pell testu;

<http://www.universalgripco.com/astm-d1876>

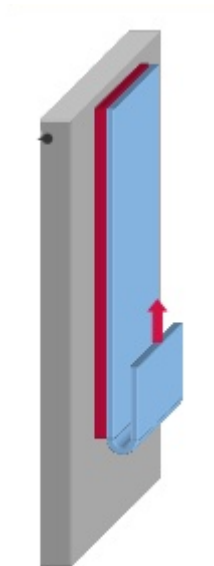
Jedna vrsta ispitivanja zahtijeva da pričvršćeni uzorak bude pod kutem od 90 stupnjeva za ispitivanje kako bi se odredila jačina prijanjanja između fleksibilnog (trake) i krutog materijala (ploče). Fleksibilan dio se pričvršćuje okomito dok je ostatak vezan za ploču tako da oblikuje oblik "L".



Slika 3.: Ispitivanje pod kutem od 90°,

<https://www.slideshare.net/Instron/packaging-testing-slidesharefinal>

Postoji i test od 180 stupnjeva kod kojeg je sloj ljepila između trake i ploče smješten okomito između držača za ispitivanje. Slobodni kraj ploče pričvršćen je za dno, a slobodni kraj trake se vuče prema vrhu tako da formira uski oblik "U".



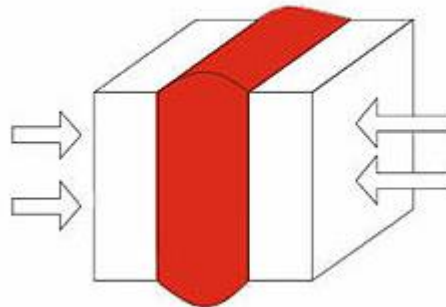
*Slika 4.: Ispitivanje pod kutem od 180°,*

<https://www.slideshare.net/Instron/packaging-testing-slidesharefinal>

T-peel testovi određuju relativnu otpornost na ljuštenje ljepljivih veza između tankih fleksibilnih materijala pomoću uzorka T-tipa. [6] "Fleksibilni" ljepljivi spoj je onaj koji se savije za 90 stupnjeva bez lomljenja ili pucanja. T-peel testovi su oblik vlačnih ispitivanja te se izvode na dva fleksibilna materijala koji su međusobno povezani i postavljeni u hvataljke za testiranje. 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 i posebno su prikladni za ispitivanje tankih aluminijskih legura. 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.

#### 4.2. 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. [6] Ispitni uzorak se općenito smješta između dviju ploča koje raspoređuju primijenjeno opterećenje po cijeloj površini dvaju suprotnih lica ispitnog uzorka, a zatim 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, elastična granica i elastični modul između ostalih parametara. Razumijevanje tih različitih parametara i vrijednosti povezanih s određenim materijalom može se utvrditi je li materijal prikladan za određene primjene ili nije, ako ne uspije pod navedenim naprežanjima.



*Slika 5.: Smjer djelovanja sila kod kompresije;*

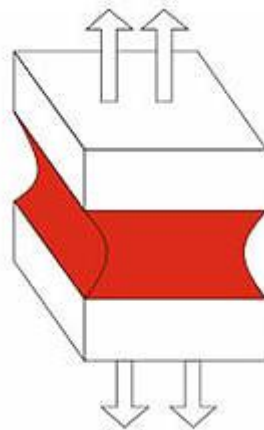
<http://www.plasticsdecorating.com/stories/080814/assembly.shtml#.WTlqW5DyiM8>

#### 4.3. Test cijepanja

Cijepanje je oblik peel - testa kod kojeg su dvije lijepljene strane krute. Opterećenje se primjenjuje normalno na područje veza na jednom kraju uzorka. Prilikom naprežanja pri cijepanju djeluju se okomito i daleko od linije veza. Stres prilikom testa cijepanja obično je koncentriran na jedan rub. [4]

#### 4.4. Test istezanja

Jedno od najvažnijih mehaničkih ispitivanja koje se može izvesti na materijalu je vlačno ispitivanje. Kod testa istezanja opterećenje se primjenjuje normalno na ravninu linije veza i u skladu s središtem područja veza. [4] Na ispitivanom uzorku se očitava napetost kada doživljava djelovanje suprotnih sile koje djeluju na suprotnim licima, obje smještene na istoj osi, koje pokušavaju odvojiti uzorak. 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. [6] 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 6.: Smjer vlačnih sila kod testa istezanja;*

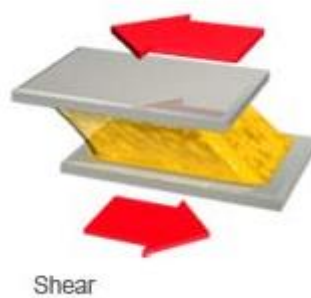
<http://www.plasticsdecorating.com/stories/080814/assembly.shtml#.WTlvjJDyiM8>

#### 4.5. Test smicanja

Ispitivanje smicanja osmišljeno je kako bi se primijenio stres test na uzorak tako da doživljava klizni poremećaj duž ravnine koja je paralelna s primijenjenim silama. Općenito, 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. Najčešća upotreba smičnih ispitivanja je da se odredi 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.



*Slika 7.: Djelovanje sile kod testa smicanja;*

[http://www.adhesivetest.com/intro\\_at.htm](http://www.adhesivetest.com/intro_at.htm)

#### 4.6. Test vezivanja

Ispitivanje vezivanja ljepila se koristi za određivanje sposobnosti ljepila da ostane u kontaktu s površinom ili materijalom dok je pod stresom ili sposobnost ljepila da drži dva materijala koja su pod stresom. [6] 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. Lijepljeni spoj između materijala može se smatrati suviše lijepljivim, a to će ovisiti o vrsti stresa koji se primjenjuje na spoj, temperaturi na kojoj se pokus provodi i smjeru sile primijenjene na spoj.

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

### 6.1. Pristup problemu

Čvrstoća lijepljenog spoja jedna je od temeljnih karakteristika kvalitete gotovih proizvoda. Brojni faktori utječu na kvalitetu lijepljenog spoja: svojstva ljepila, temperatura, viskoznost, veličina lijepljenog spoja, otvoreno vrijeme sušenja, vrijeme sušenja i prešanja te mnogi drugi faktori navedeni u teorijskom dijelu ovoga rada.

Cilj ovog rada je ispitati utjecaj vremena sušenja i prešanja na čvrstoću lijepljenog spoja. Svi ostali faktori ostati će konstantni kod svih uzoraka korištenih u istraživanju.

Ispitivanje čvrstoće provodi se na kitalici tvrtke Enrico Toniolo, Dynamometer Tensomini Super za svaku od odabrane tri vrste papira i tri vrste kartona. Mjerenje se vrši na 13 uzoraka dimenzije 135 x 15 mm za svaku vrstu odabranog materijala, u dva smjera toka vlakana (poprečni odnosno CD – cross direction te uzdužni odnosno MD – machine direction). Izmjerene vrijednosti statistički se obrađuju i uspoređuju se srednje vrijednosti dobivenih rezultata kako bi se utvrdilo koje vrijeme prešanja daje bolje rezultate što se tiče čvrstoće lijepljenog spoja.

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

### 6.2. Korišteni materijali i uređaji

Za provođenje ispitivanja koristi se PVAc Signakol L ljepilo izrađena na bazi vodene disperzije polivinilacetata uz dodatak aditiva. Ljepilo je predviđeno je za strojno i ručno nanošenje. Koristi se za ljepljenje 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 ljepljenja su pri temperaturi prostorije od 18°C do 20°C i relativne vlažnosti zraka 60 do 70 posto.

U svrhu ispitivanja odabrane su tri vrste papira koje spadaju u skupinu uredskih papira. Korišteni su:

1. Navigator Universal od 100% primarnih vlakana; (R0 u nastavku rada),
2. Navigator Hybrid od 30% recikliranih i 70% primarnih vlakana; (R30) te

3. Recy Office Classic od 100% recikliranih vlakana; (R100)

Svi papiri dolaze u formatu A4 i gramature od 80 g/m<sup>2</sup>.

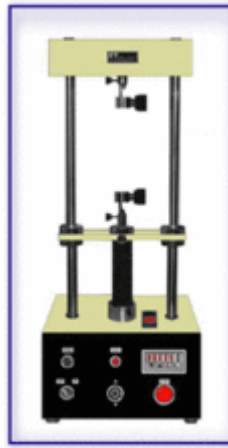
Nadalje, kartoni koji su korišteni su:

1. Lux Pack GC1 koji je jednostrano premazani volumiozni bijelo – bijeli karton na bazi celuloze dizajniran za izradu visoko kvalitetne ambalaže. Pozadina kartona je bijele boje s laganim premazom. Karakteriziraju ga visoka bijelina, 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.
2. Pro Pack GT2 je bijelo – bijeli visoko kvalitetni kromo karton proizveden od recikliranog papira. Srednji sloj je izrađen od miješanog recikliranog papira, dok su gornji i donji sloj proizvedeni iz sortiranog bijelog recikliranog papira. Ima troslojni gornji premaz te jednoslojni donji, konstantnu kvalitetu i odlične tiskarske i proizvodne karakteristike. Korisi se kod izrade kvalitetne kartonske ambalaže za kozmetičku, farmaceutsku, prehrambenu i kemijsku industriju. Metode tiska su offset i flexo.
3. Umka Color GD2 je bijelo – sivi kromo karton proizveden od 100% recikliranog materijala. Srednji sloj je izrađen od miješanog recikliranog papira, a gornji od sortiranog bijelog recikliranog papira. Odlikuje se troslojnim gornjim premazom i jednoslojnim donjim, visokom kvalitetom, dobrim tiskarskim i proizvodnim karakteristikama. Koristi se za izradu raznih vrsta kartonskih kutija u prehrambenoj i konditorskoj industriji. Predviđen za offset i flexo tehnike tiska.

Gramatura korištenih kartona je 350 g/m<sup>2</sup>.

Uređaj na kojem je ispitivana čvrstoća lijepljenog spoja je kidalica 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. Mogući razmak između hvataljki koji se ručno podešava je 50, 100, 150 i 180 milimetara, a brzina kidanja je 10 do 250 mm/min.



*Slika 8.: kidalica Enrico Toniolo Dynamometer Tensomini Super;*

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

### 6.3. 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 i CD u daljnjem tekstu) 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 četiri puta kako bismo dobili uzorke za četiri promjene vremena ( 1, 12, 24 i 36 sati). Slijedi prekondicioniranje uzoraka na radnu temperaturu prema TAPPI standardu T 402 na minimalno 24 sata.

Nakon prekondicioniranja slijedi izrada uzoraka slijepljenih spojeva. Ljepilo se nanosi kistom veličine 18 na samo jedan list, na način da se namaz nanosi paralelno sa žlijebom od ruba do linije žlijebljenja. Zatim se višak ljepila skida u smjeru okomitom

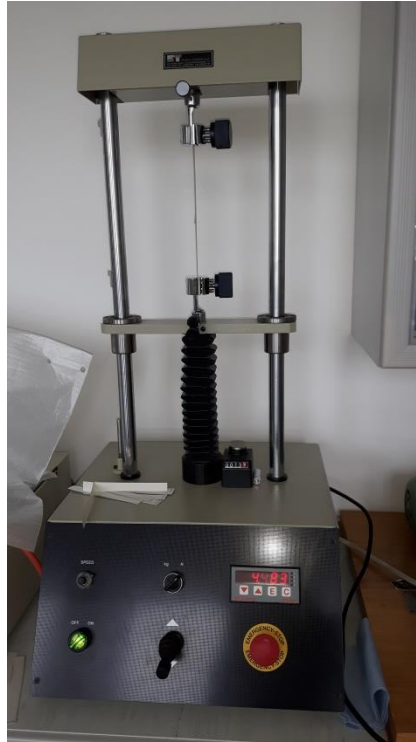
na žlijeb te se drugim listom preklopi na način da se linije žlijebljenja preklapaju kako bi se formirali uzorci za peel test. Nakon lijepljenja uzorci se stavljaju na prešanje pod težinu koju daju drvena ploča od 0,9 kilograma i uteg od 1 kilograma postavljen na sredinu. Prešanje traje dok ne prođe zadani interval prešanja. Uzorci se nakon prešanja ostave još jedan sat bez utega kako bi film ljepila otvrdnuo i zatim se pristupa rezanju uzoraka na trakice. Vršni se obrezivanje sa sve četiri strane na način da se 1 centimetar odreže na mjestu spoja, 0,75 centimetara s lijeve i desne strane te 6,5 centimetara s gornje strane. Na taj način se dobije slijepljeni uzorak dimenzija 195 x 135 mm koji se potom reže na trakice širine 15 mm. Na koncu se za svaku vrstu papira i kartona te za oba smjera dobije po 13 trakica dimenzije 15 x 135 mm, s lijepljenim spojem 15 x 30 mm, za ispitivanje ljuštenja na kidalici. Uzorci se čuvaju u plastičnoj kutiji do provedbe ispitivanja.



*Slika 9.: Pripremljeni uzorci papira nakon lijepljenja i prešanja*

#### 6.4. Opis ispitivanja

Ispitivanje je izvršeno na 13 uzoraka za svaku vrstu papira i kartona te za oba smjera toka vlaknaca. Za ispitivanje se koristi kidalica tvrtke Enrico Toniolo, Dynamometer Tensomini Super i brzina kidanja je konstantna kod svih ispitanih uzoraka, a iznosi 2/90. Peel test se provodi za četiri vremenska intervala prešanja od 1 h, 12 h, 24 h i 36 h. Dakle, ispitivanje uzoraka je provedeno zasebno za svaki interval prešanja.



*Slika 10.: Provođenje testa ljuštenja na kidalici*

Dobiveni rezultati zapisuju su na tri decimale, a prekidna sila izražena je u njutnima. Nakon dobivenih rezultata vrši se njihova analiza i odabir vrijednosti koje će se uzimati u obzir. 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. Prvo se 13 dobivenih mjerenja poreda od većeg prema manjem te se izračuna ukupni medijan tih rezultata. Nakon izračuna medijana odbacuju se 3 rezultata koja najviše odstupaju od vrijednosti medijana. Nadalje, slijedi računanje aritmetičke sredine, standardne devijacije i koeficijenta varijacije. Primjećujemo da je koeficijent varijacije kod papira u većini mjerenja do 10 posto, a kod kartona do 15 posto. U slučajevima gdje nam je koeficijent bio veći, ponovno smo korigirali rezultate te izbacili još jednu do dvije vrijednosti koje su najviše odstupale. Na taj način smo bez iznimke uspjeli dobiti koeficijent varijacije do 10 posto kod papira, odnosno 15 posto kod kartona. Na taj način smo za svako pojedinačno mjerenje u obzir uzeli 8 do 10 relevantnih rezultata.



Slika 11.: Prikaz uzorka nakon provedenog testa ljuštenja

### 6.5. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama od 2 do 9 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 ( $\sigma$ ), medijan (C) te koeficijent varijacije (V). Prikaz rezultata koncipiran je na način da se za svako pojedino vrijeme prešanja mjerenja prikazuju zasebno za papire i zasebno za kartone.

Tablica 2.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira za oba smjera toka vlaknaca nakon 1 sata prešanja

| Vrijeme prešanja: 1 sat         |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | R0    |       | R30   |       | R100  |       |
| Red.br.                         | MD    | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                              | 3,531 | 2,217 | 3,943 | 2,795 | 3,492 | 1,932 |
| 2.                              | 3,296 | 2,138 | 3,884 | 2,746 | 3,453 | 1,883 |
| 3.                              | 3,060 | 2,118 | 3,325 | 2,560 | 3,384 | 1,854 |
| 4.                              | 3,021 | 1,952 | 3,296 | 2,530 | 3,276 | 1,844 |
| 5.                              | 2,893 | 1,844 | 3,256 | 2,491 | 3,129 | 1,795 |
| 6.                              | 2,835 | 1,834 | 3,247 | 2,413 | 3,109 | 1,785 |
| 7.                              | 2,802 | 1,746 | 3,237 | 2,315 | 2,972 | 1,785 |
| 8.                              | 2,697 | 1,706 | 3,021 | 2,295 | 2,962 | 1,765 |
| 9.                              | 2,648 | /     | 2,972 | /     | /     | 1,706 |
| 10.                             | /     | /     | 2,962 | /     | /     | 1,667 |
| <b><math>\bar{x}</math> [N]</b> | 2,976 | 1,944 | 3,314 | 2,518 | 3,222 | 1,802 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b>  | 0,271 | 0,180 | 0,326 | 0,171 | 0,196 | 0,076 |
| <b>C [N]</b>                    | 3,060 | 1,834 | 3,296 | 2,413 | 3,129 | 1,795 |

|       |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| V [N] | 9,11 | 9,27 | 9,83 | 6,78 | 6,07 | 4,20 |
|-------|------|------|------|------|------|------|

Tablica 3.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod kartona za oba smjera toka vlaknaca nakon 1 sata prešanja

| Vrijeme prešanja: 1 sat        |        |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | GC1    |       | GT2   |       | GD2   |       |
| Red.br.                        | MD     | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                             | 12,694 | 8,407 | 7,200 | 2,972 | 2,678 | 2,687 |
| 2.                             | 12,586 | 8,191 | 6,906 | 2,943 | 2,393 | 2,501 |
| 3.                             | 11,624 | 7,465 | 6,321 | 2,874 | 2,315 | 2,453 |
| 4.                             | 10,977 | 7,377 | 6,111 | 2,815 | 2,256 | 2,295 |
| 5.                             | 10,908 | 7,318 | 6,023 | 2,658 | 2,138 | 2,128 |
| 6.                             | 10,055 | 7,229 | 5,621 | 2,648 | 1,942 | 2,089 |
| 7.                             | 9,515  | 6,847 | 5,513 | 2,187 | 1,869 | 2,069 |
| 8.                             | 9,388  | 6,651 | 5,179 | 2,079 | 1,667 | 2,020 |
| 9.                             | /      | /     | 4,895 | 2,060 | /     | 1,883 |
| 10.                            | /      | /     | /     | 1,987 | /     | 1,422 |
| <b>x [N]</b>                   | 10,968 | 7,436 | 6,009 | 2,522 | 2,165 | 2,155 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 1,198  | 0,563 | 0,741 | 0,379 | 0,287 | 0,340 |
| <b>C [N]</b>                   | 10,908 | 7,421 | 6,631 | 2,648 | 2,256 | 2,128 |
| <b>V [N]</b>                   | 10,91  | 7,57  | 12,33 | 15,04 | 13,24 | 15,75 |

Tablica 4.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira za oba smjera toka vlaknaca nakon 12 sati prešanja

| Vrijeme prešanja: 12 sati |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | R0    |       | R30   |       | R100  |       |
| Red. Br.                  | MD    | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                        | 3,041 | 2,081 | 2,992 | 2,798 | 3,553 | 1,971 |
| 2.                        | 3,001 | 2,079 | 2,923 | 2,764 | 3,478 | 1,942 |
| 3.                        | 2,844 | 1,824 | 2,844 | 2,676 | 3,362 | 1,893 |
| 4.                        | 2,776 | 1,805 | 2,821 | 2,346 | 3,178 | 1,755 |
| 5.                        | 2,491 | 1,677 | 2,511 | 2,236 | 2,854 | 1,755 |



|                                |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6.                             | 2,423 | 1,648 | 2,564 | 2,248 | 2,805 | 1,697 |
| 7.                             | 2,393 | 1,620 | 2,544 | 2,240 | 2,786 | 1,697 |
| 8.                             | 2,364 | 1,619 | 2,439 | 2,240 | 2,619 | 1,667 |
| 9.                             | /     | /     | /     | /     | /     | 1,628 |
| 10.                            | /     | /     | /     | /     | /     | 1,569 |
| <b>x [N]</b>                   | 2,672 | 1,794 | 2,705 | 2,444 | 3,079 | 1,757 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 0,266 | 0,180 | 0,199 | 0,239 | 0,335 | 0,129 |
| <b>C [N]</b>                   | 2,776 | 1,648 | 2,511 | 2,764 | 3,178 | 1,755 |
| <b>V [N]</b>                   | 9,97  | 10,05 | 7,35  | 9,77  | 10,87 | 7,32  |

*Tablica 5.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod kartona za oba smjera toka vlaknaca nakon 12 sati prešanja*

| Vrijeme prešanja: 12 sati      |        |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | GC1    |       | GT2   |       | GD2   |       |
| Red.br.                        | MD     | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                             | 12,321 | 9,927 | 7,573 | 3,080 | 2,763 | 2,884 |
| 2.                             | 12,203 | 8,377 | 6,817 | 3,031 | 2,733 | 2,805 |
| 3.                             | 11,516 | 8,004 | 6,789 | 2,825 | 2,687 | 2,619 |
| 4.                             | 11,222 | 7,926 | 6,121 | 2,540 | 2,678 | 2,521 |
| 5.                             | 11,104 | 7,543 | 5,787 | 2,481 | 2,599 | 2,462 |
| 6.                             | 10,761 | 7,465 | 5,699 | 2,374 | 2,323 | 2,452 |
| 7.                             | 10,643 | 7,279 | 5,199 | 2,374 | 2,124 | 2,256 |
| 8.                             | 10,339 | 6,886 | 4,963 | 2,364 | 2,005 | 2,207 |
| 9.                             | 10,182 | 6,749 | /     | 2,315 | /     | 2,030 |
| 10.                            | 10,162 | 6,248 | /     | 2,246 | /     | 1,873 |
| <b>x [N]</b>                   | 11,045 | 7,640 | 6,119 | 2,563 | 2,489 | 2,407 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 0,741  | 0,973 | 0,831 | 0,289 | 0,278 | 0,300 |
| <b>C [N]</b>                   | 11,222 | 7,465 | 5,743 | 2,481 | 2,323 | 2,452 |
| <b>V [N]</b>                   | 6,70   | 12,72 | 13,57 | 11,27 | 11,15 | 12,48 |

Tablica 6.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira za oba smjera toka vlaknaca nakon 24 sata prešanja

| Vrijeme prešanja: 24 sata      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Red.br.                        | R0    |       | R30   |       | R100  |       |
|                                | MD    | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                             | 3,090 | 1,854 | 2,992 | 1,903 | 3,688 | 1,912 |
| 2.                             | 3,041 | 1,814 | 2,943 | 1,687 | 3,639 | 1,824 |
| 3.                             | 2,962 | 1,657 | 2,823 | 1,687 | 3,423 | 1,746 |
| 4.                             | 2,933 | 1,618 | 2,893 | 1,628 | 3,276 | 1,736 |
| 5.                             | 2,893 | 1,589 | 2,748 | 1,608 | 3,099 | 1,520 |
| 6.                             | 2,864 | 1,589 | 2,570 | 1,500 | 3,060 | 1,500 |
| 7.                             | 2,854 | 1,579 | 2,562 | 1,491 | 3,011 | 1,461 |
| 8.                             | 2,746 | 1,579 | 2,424 | 1,491 | 2,874 | 1,442 |
| 9.                             | 2,707 | 1,461 | /     | 1,442 | 2,766 | 1,432 |
| 10.                            | 2,678 | 1,334 | /     | /     | 2,599 | /     |
| <b>x [N]</b>                   | 2,877 | 1,607 | 2,744 | 1,604 | 3,144 | 1,619 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 0,130 | 0,143 | 0,192 | 0,136 | 0,343 | 0,174 |
| <b>C [N]</b>                   | 2,933 | 1,618 | 2,943 | 1,687 | 3,276 | 1,520 |
| <b>V [N]</b>                   | 4,52  | 8,89  | 7,00  | 8,47  | 10,90 | 10,75 |

Tablica 7.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod kartona za oba smjera toka vlaknaca nakon 24 sata prešanja

| Vrijeme prešanja: 24 sata |        |       |       |       |       |       |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Red.br.                   | GC1    |       | GT2   |       | GD2   |       |
|                           | MD     | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                        | 12,988 | 8,789 | 5,660 | 2,815 | 1,608 | 1,265 |
| 2.                        | 12,311 | 8,544 | 5,611 | 2,560 | 1,599 | 1,196 |
| 3.                        | 11,301 | 7,583 | 5,591 | 2,521 | 1,402 | 1,108 |
| 4.                        | 10,947 | 7,141 | 5,493 | 2,491 | 1,353 | 1,059 |
| 5.                        | 10,447 | 6,955 | 5,385 | 2,324 | 1,157 | 1,059 |
| 6.                        | 9,633  | 6,916 | 4,905 | 2,285 | 1,130 | 0,954 |
| 7.                        | 9,720  | 6,092 | 4,090 | 2,226 | 1,170 | 0,884 |
| 8.                        | 9,520  | 5,787 | 3,786 | 2,011 | 1,024 | 0,796 |

|                                |        |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.                             | /      | 5,699 | /     | 1,971 | /     | /     |
| 10.                            | /      | /     | /     | 1,608 | /     | /     |
| <b>x [N]</b>                   | 10,858 | 7,056 | 5,065 | 2,281 | 1,305 | 1,040 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 1,205  | 1,050 | 0,692 | 0,330 | 0,206 | 0,146 |
| <b>C [N]</b>                   | 10,447 | 7,141 | 5,385 | 2,285 | 1,170 | 1,108 |
| <b>V [N]</b>                   | 11,09  | 14,87 | 13,65 | 14,48 | 15,78 | 14,07 |

*Tablica 8.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod papira za oba smjera toka vlaknaca nakon 36 sati prešanja*

| Vrijeme prešanja: 36 sati      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | R0    |       | R30   |       | R100  |       |
| Red.br.                        | MD    | CD    | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                             | 2,864 | 2,099 | 3,066 | 1,981 | 2,844 | 1,997 |
| 2.                             | 2,844 | 1,894 | 2,805 | 1,981 | 2,609 | 1,991 |
| 3.                             | 2,736 | 1,883 | 2,756 | 1,981 | 2,570 | 1,903 |
| 4.                             | 2,491 | 1,844 | 2,746 | 1,932 | 2,511 | 1,795 |
| 5.                             | 2,413 | 1,716 | 2,589 | 1,922 | 2,413 | 1,618 |
| 6.                             | 2,393 | 1,697 | 2,374 | 1,903 | 2,413 | 1,589 |
| 7.                             | 2,364 | 1,579 | 2,275 | 1,883 | 2,324 | 1,559 |
| 8.                             | 2,246 | 1,579 | 2,197 | 1,824 | 2,285 | 1,540 |
| 9.                             | 2,246 | 1,491 | /     | 1,755 | 2,256 | /     |
| 10.                            | 2,148 | /     | /     | 1,755 | 2,226 | /     |
| <b>x [N]</b>                   | 2,475 | 1,754 | 2,601 | 1,892 | 2,445 | 1,749 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 0,243 | 0,182 | 0,279 | 0,083 | 0,182 | 0,183 |
| <b>C [N]</b>                   | 2,491 | 1,716 | 2,746 | 1,922 | 2,511 | 1,795 |
| <b>V [N]</b>                   | 9,82  | 10,38 | 10,73 | 4,37  | 7,45  | 10,47 |

Tablica 9.: Prikaz dobivenih vrijednosti kod kartona za oba smjera toka vlaknaca nakon 36 sati prešanja

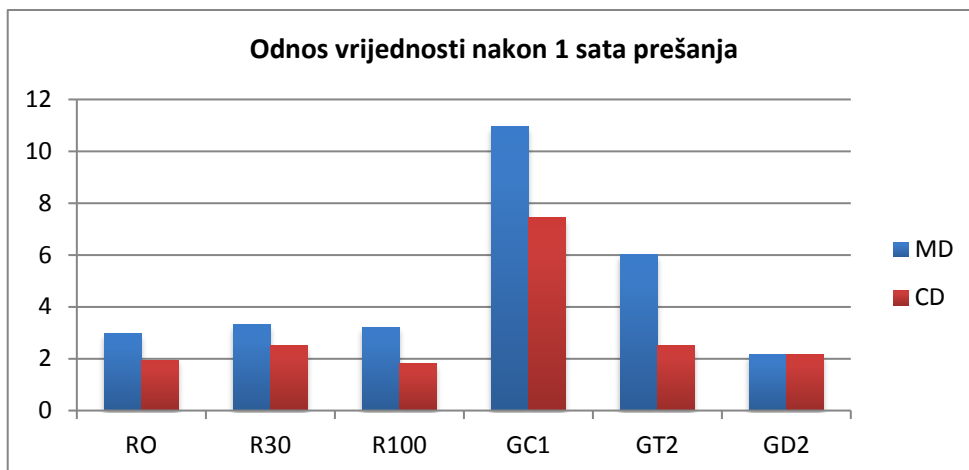
| Vrijeme prešanja: 36 sati      |        |        |       |       |       |       |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                                | GC1    |        | GT2   |       | GD2   |       |
| Red. Br.                       | MD     | CD     | MD    | CD    | MD    | CD    |
| 1.                             | 12,301 | 10,496 | 6,149 | 4,043 | 1,748 | 3,904 |
| 2.                             | 12,085 | 10,290 | 6,105 | 4,020 | 1,739 | 3,717 |
| 3.                             | 11,477 | 10,192 | 5,810 | 3,878 | 1,638 | 3,610 |
| 4.                             | 11,232 | 10,055 | 5,385 | 3,600 | 1,579 | 3,600 |
| 5.                             | 10,898 | 9,986  | 5,385 | 3,396 | 1,596 | 3,433 |
| 6.                             | 10,804 | 9,947  | 4,238 | 2,930 | 1,343 | 3,158 |
| 7.                             | 10,192 | 6,682  | 4,191 | 2,762 | 1,334 | 3,119 |
| 8.                             | 10,153 | 9,093  | 4,183 | 2,742 | 1,012 | 2,648 |
| 9.                             | 9,908  | 8,740  | /     | /     | /     | 2,354 |
| 10.                            | 9,682  | 8,299  | /     | /     | /     | /     |
| <b>x [N]</b>                   | 10,873 | 9,678  | 5,181 | 3,421 | 1,495 | 3,283 |
| <b><math>\sigma</math> [N]</b> | 0,857  | 0,689  | 0,801 | 0,515 | 0,234 | 0,485 |
| <b>C [N]</b>                   | 10,804 | 9,682  | 5,385 | 3,396 | 1,343 | 3,119 |
| <b>V [N]</b>                   | 7,87   | 7,11   | 15,46 | 15,05 | 15,66 | 14,75 |

## 6.6. Diskusija rezultata

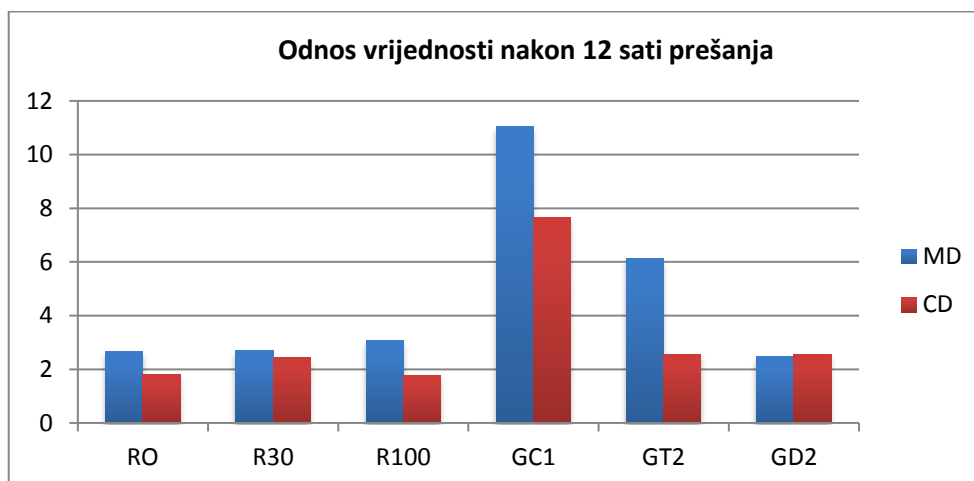
Diskusiju ćemo započeti s usporedbom vrijednosti poretka čvrstoće papira i kartona, u oba smjera, s čvrstoćom ispitivanih spojeva također u oba smjera. Prema dobivenim vrijednostima za čvrstoću ispitivanih materijala, poredak po čvrstoći je slijedeći (od veće prema manjoj): kod papira za MD: R0, R30, R100, a za CD: R30, R0, R100; dok je kod kartona za oba smjera poredak GC1, GD2 te GT2. Što se tiče dobivenih vrijednosti ispitivanih spojeva, te vrijednosti i njihovi odnosi vidljivi su na grafikonima od 1. do 4. za svako pojedino vrijeme prešanja. Kao što je vidljivo iz svih prikazanih vrijednosti, ni u jednom slučaju ne dolazi do idealnog poklapanja između navedenog poretka i ispitivanih spojeva. Što se tiče papira, vidljivo je da kod CD smjera dolazi do jednog odstupanja, dok su kod MD smjera varijacije mnogobrojne. Kod kartona GD2 i GT2 vrijednosti su čak zamijenile pozicije i to u oba smjera. Stoga možemo zaključiti da sama čvrstoća papira i kartona nije najbitnija pri ispitivanju i usporedbi čvrstoća lijepljenih spojeva.

*Tablica 10.: Prikaz vrijednosti čvrstoće papira i kartona*

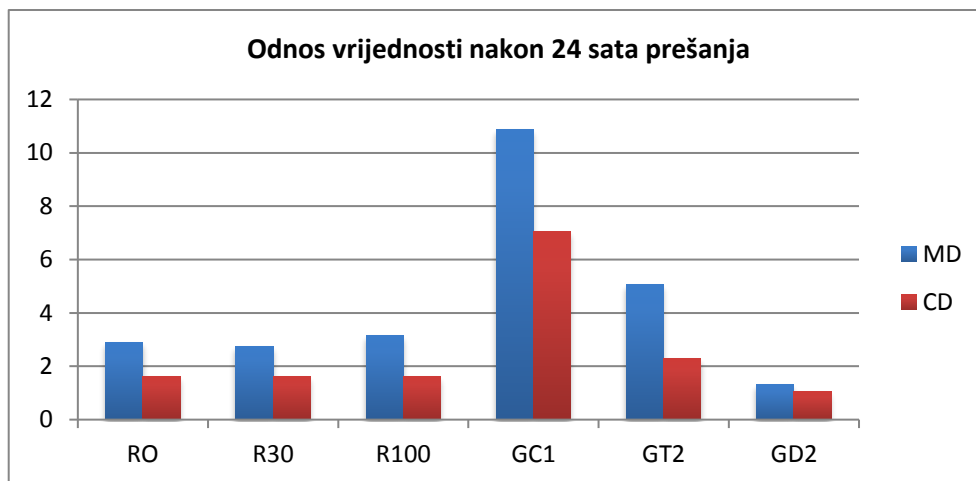
| Vrijednosti poretka čvrstoće papira i kartona |       |       |       |       |       |         |        |        |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
| PAPIRI  |       |       |       |       |       | KARTONI |        |        |       |       |       |
| MD  |       |       | CD    |       |       | MD      |        |        | CD    |       |       |
| R0  | R30   | R100  | R0    | R30   | R100  | GC1     | GT2    | GD2    | GC1   | GT2   | GD2   |
| 5,258   | 4,231 | 3,538 | 2,067 | 3,348 | 1,360 | 17,004  | 14,375 | 16,402 | 9,496 | 4,061 | 6,723 |



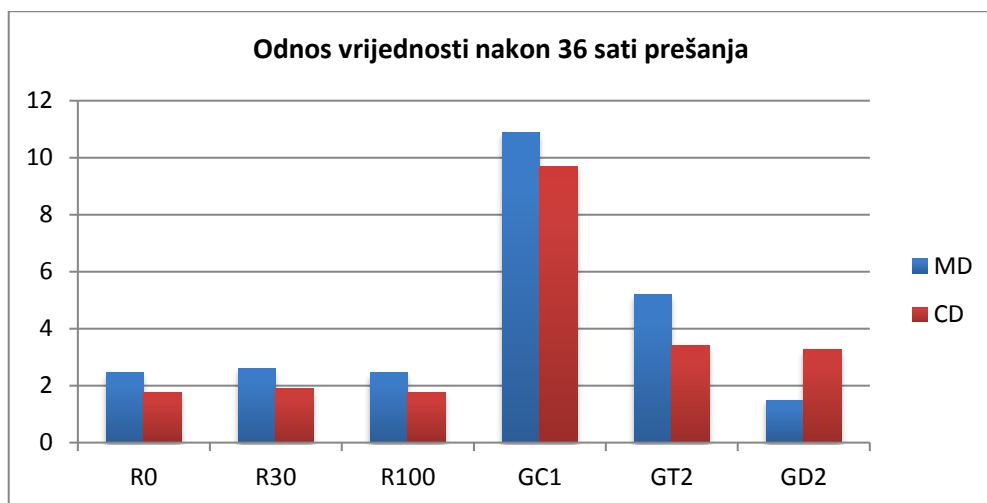
*Grafikon 1.: Odnos dobivenih vrijednosti čvrstoće ispitanih spojeva nakon 1 sata prešanja*



*Grafikon 2.: Odnos dobivenih vrijednosti čvrstoće ispitanih spojeva nakon 12 sati prešanja*



*Grafikon 3.: Odnos dobivenih vrijednosti čvrstoće ispitanih spojeva nakon 24 sata prešanja*

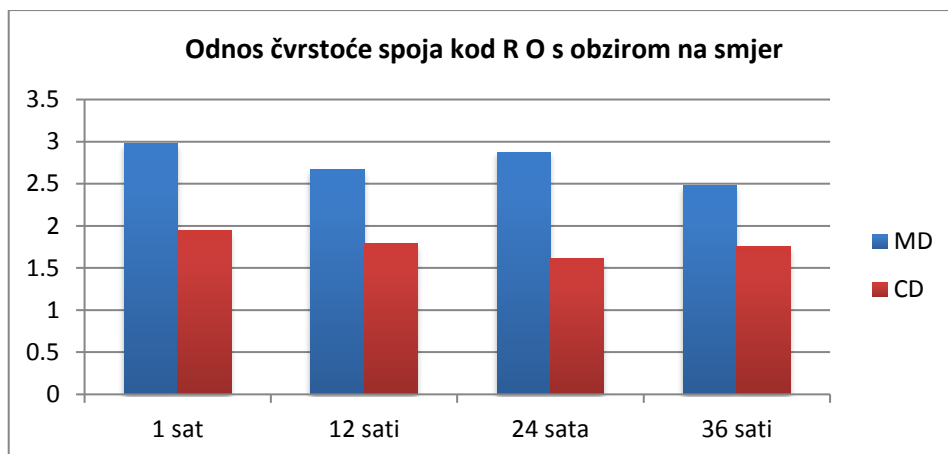


*Grafikon 4.: Odnos dobivenih vrijednosti čvrstoće ispitanih spojeva nakon 36 sati prešanja*

Nadalje, usporedit ćemo čvrstoću spoja s obzirom na smjer toka vlaknaca ispitanih papira i kartona, a njihove odnose možemo vidjeti prikazane u grafikonima od 5 do 10. 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. Uz jednu iznimku kod kartona GD2 nakon 36 sati prešanja, što je vidljivo u grafikonu 8. Tu iznimku možemo objasniti na temelju nehomogenosti lijepljenog spoja do koje dolazi u strukturi

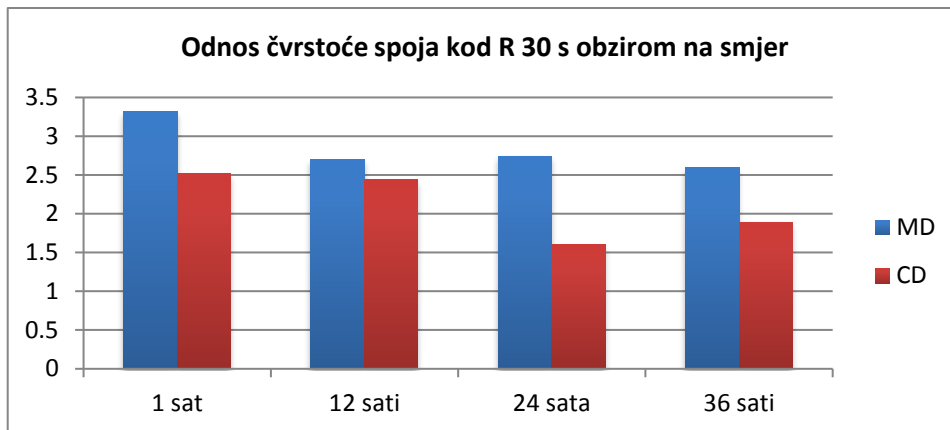
ljepila u očvrnutom stanju, zbog nastajanja raznih nepravilnosti uslijed zaostalih nakupina zraka ili ostataka otapala.

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, vlakanca 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. Suprotno tome, smjer koji je okomit na smjer stroja poznat je kao poprečni smjer toka vlaknaca (CD) kojeg karakterizira veće istežanje i promjena dimenzionalne stabilnosti.

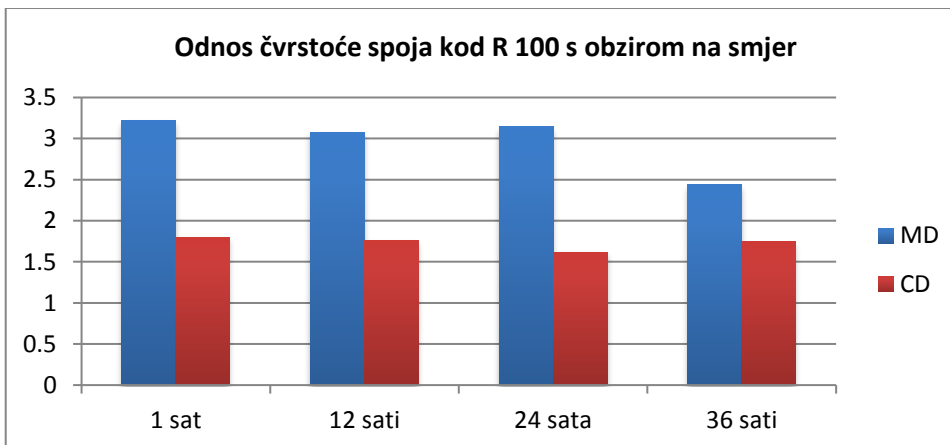


*Grafikon 5.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod papira R 0*

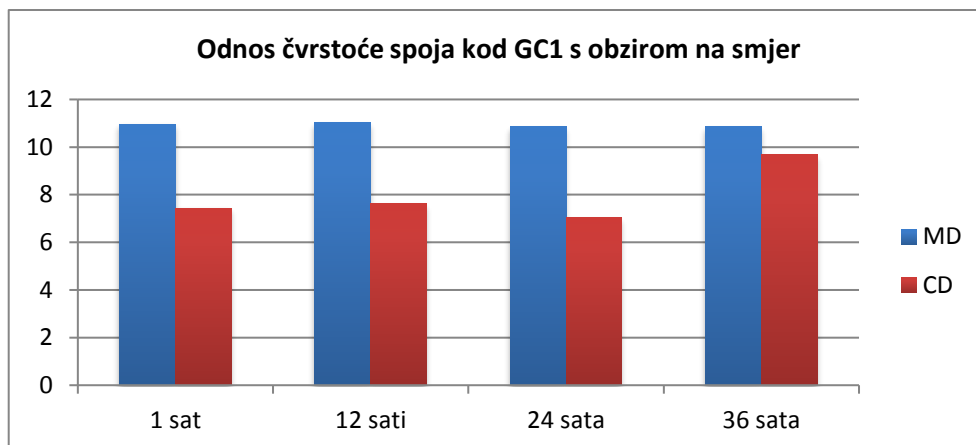




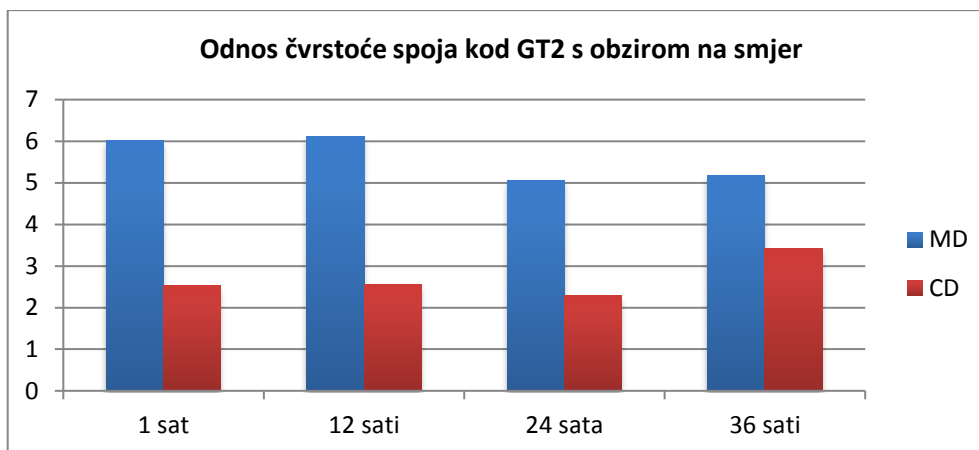
*Grafikon 6.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod papira R 30*



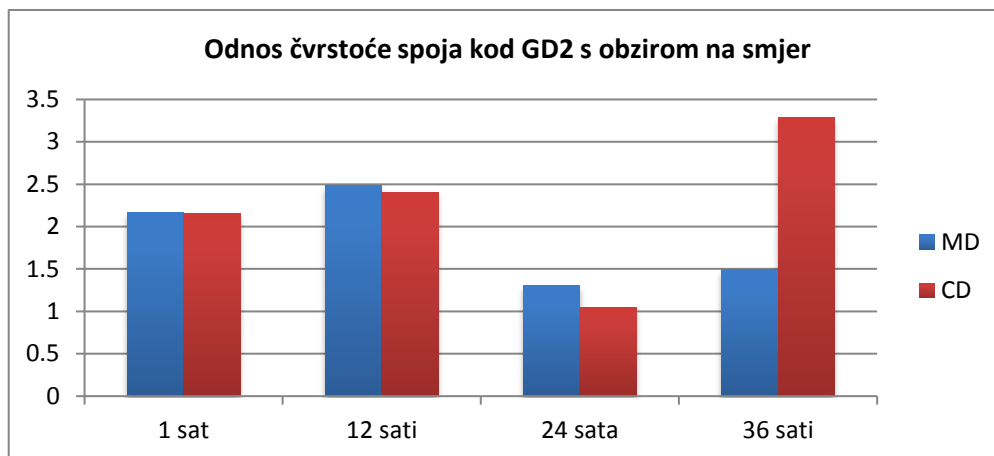
*Grafikon 7.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod papira R 100*



*Grafikon 8.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod kartona GC1*



*Grafikon 9.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod kartona GT2*

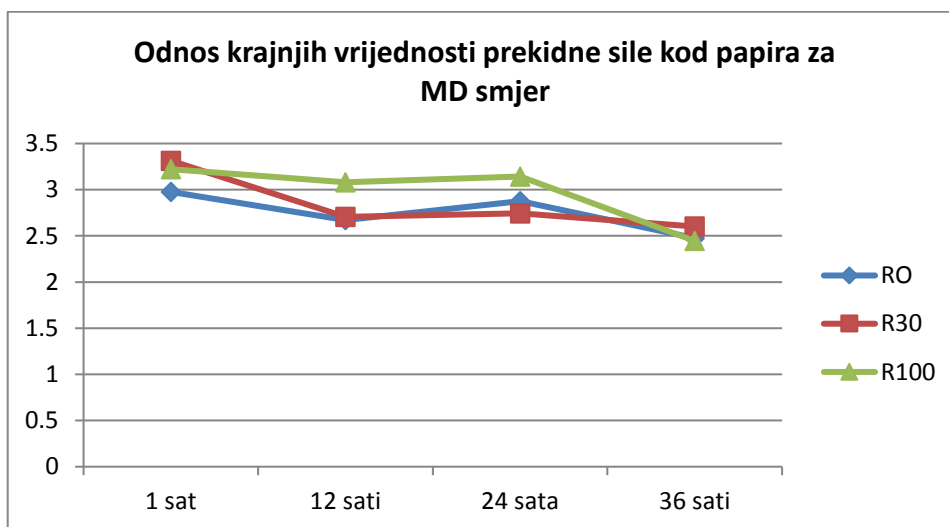


*Grafikon 10.: Prikaz vrijednosti čvrstoće ispitanog spoja s obzirom na smjer tok vlaknaca kod kartona GD2*

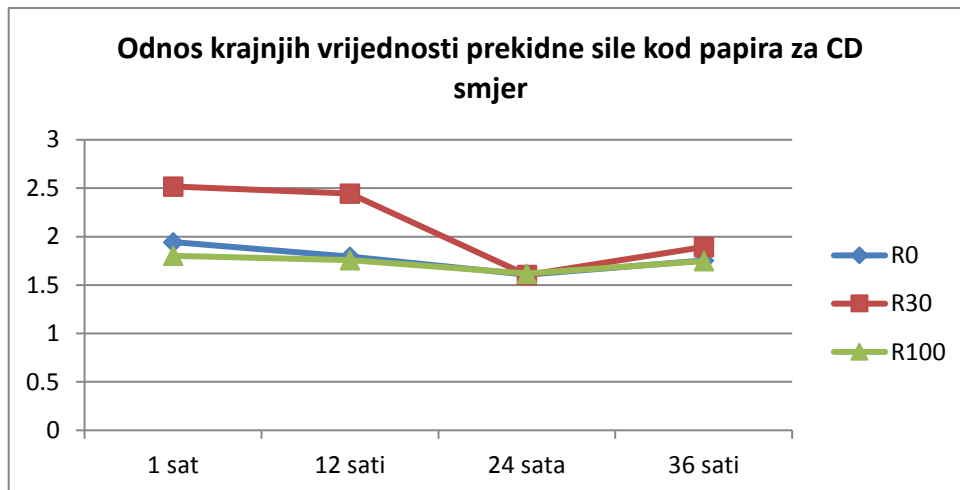
Na temelju slijedećih rezultata ispitivanih uzoraka napravit ćemo uvid u utjecaj vremena sušenja i prešanja na čvrstoću lijepljenog spoja. Što se tiče papira, u tablici 11. vidljive su brojčane vrijednosti ispitivanih uzoraka, koje su grafički prikazane u grafikonu 11 i 12 za lakšu vizualizaciju odnosa i varijacija s obzirom na ispitana vremena. Započet ćemo s papirom Navigator Universal (R0). Vrijednost inicijalne čvrstoće lijepljenog spoja najveće su nakon jednog sata sušenja i prešanja, dok se kod ostalih vremena ta vrijednost smanjuje, uz manje varijacije između ispitanih vremena. Što se tiče smjera toka vlaknaca, na temelju dobivenih rezultata možemo zaključiti da je inicijalna čvrstoća svakako veća u MD smjeru u odnosu na CD smjer. U slučaju papira Navigator Hybrid (R30) dobivene vrijednosti za MD smjer pokazuju najveću čvrstoću nakon jednog sata sušenja i prešanja, dok kroz ostala vremena ta vrijednost također opada. Što se tiče CD smjera, nakon jednog sata sušenja i prešanja dobiva se najveća učinkovitost dok u ostalim vremenima opada, a sveukupne vrijednosti bitno su manje u odnosu na one kod MD smjera. Kod papira Recy Office Classic (R100) nema bitnijih odstupanja u poredku ukupne vrijednosti u odnosu na druge vrste papira. Dakle, inicijalna čvrstoća je najveća nakon jednog sata za oba smjera toka vlaknaca, dok s povećanjem vremena sušenja i prešanja opada uz manje varijacije između ispitanih vremena.

Tablica 11.: Prikaz krajnjih vrijednosti prekidne sile kod papira za oba smjera toka vlaknaca i sva vremena sušenja i prešanja

| Prikaz krajnjih vrijednosti prekidne sile kod papira |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | MD    |       |       |       | CD    |       |       |       |
|  | 1 h   | 12 h  | 24 h  | 36 h  | 1 h   | 12 h  | 24 h  | 36 h  |
| <b>R0</b>  | 2,976 | 2,672 | 2,877 | 2,475 | 1,944 | 1,794 | 1,607 | 1,754 |
| <b>R30</b>   | 3,314 | 2,705 | 2,744 | 2,601 | 2,518 | 2,444 | 1,604 | 1,892 |
| <b>R100</b>  | 3,222 | 3,079 | 3,144 | 2,445 | 1,802 | 1,757 | 1,619 | 1,749 |



Grafikon 11.: Prikaz odnosa krajnjih vrijednosti prekidne sile kod papira za MD smjer kroz sva vremena sušenja i prešanja



*Grafikon 12.: Prikaz odnosa krajnjih vrijednosti prekidne sile kod papira za CD smjer kroz sva vremena prešanja*

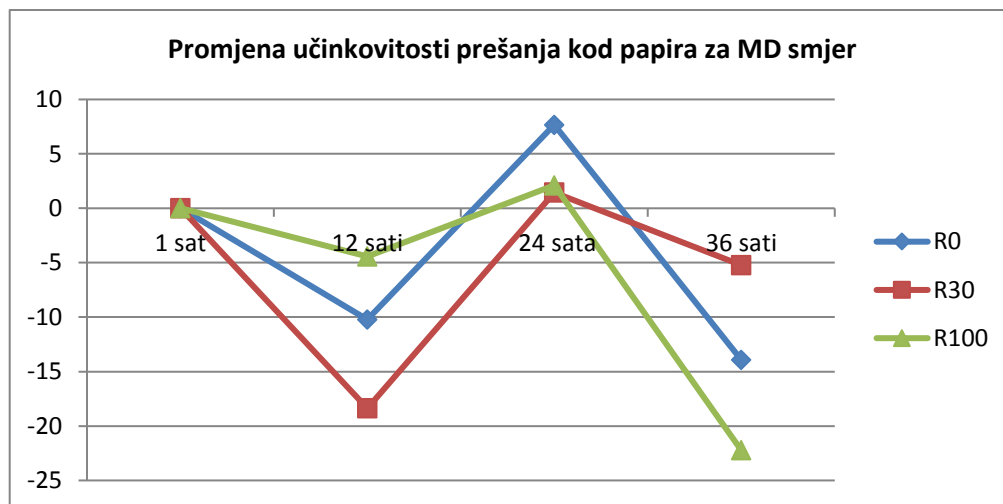
Nakon ove analize možemo se osvrnuti na odnose učinkovitosti ispitanih vremena sušenja i prešanja lijepljenih spojeva. Tabelarni prikaz u tablici 12 daje nam opisne odnose učinkovitosti usporedbom između ispitanih vremena za sve vrste papira. Tablica prikazuje odnos među vrijednostima, prva kolona prikazuje usporedbu rezultata od 1 h s 12 h, gdje je vidljivo smanjenje vrijednosti u oba smjera toka vlakana. U sljedećoj koloni uspoređujemo 24 h i 12 h te 24 h i 1 h. Tu vidimo povećanje u prvom slučaju kod MD smjera, dok je kod CD smjera u oba slučaja zabilježeno smanjenje. Posljednja kolona uspoređuje 36 h i 24 h, 36 h i 12 h te 36 h i 1 h. Vidimo da se povećanje ostvaruje samo u prvom slučaju kod CD smjera, dok su u MD smjeru sve vrijednosti rezultirale smanjenjem vrijednosti. Kao što je vidljivo, analiza smjerova vrijedi za sve vrste papira jednako.

Tablica 12.: Opisni prikaz odnosa krajnjih vrijednosti ovisno o vremenu prešanja kod papira

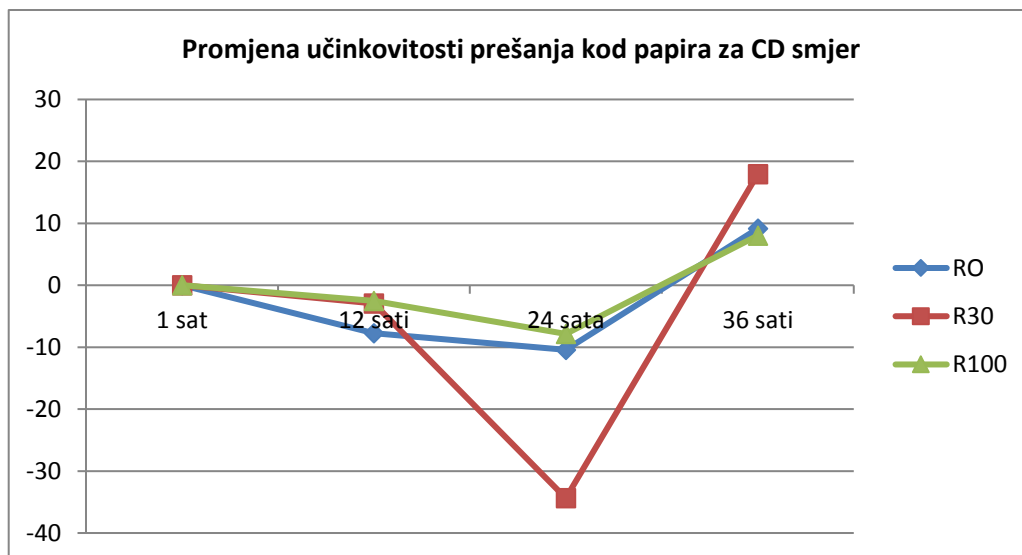
| Odnosi između krajnjih vrijednosti kod papira |         |                   |                              |        |                   |                              |
|---|---------|-------------------|------------------------------|--------|-------------------|------------------------------|
|   | MD      |                   |                              | CD     |                   |                              |
|   | 1h/ 12h | 12h/24h<br>1h/24h | 24h/36h<br>12h/36h<br>1h/36h | 1h/12h | 12h/24h<br>1h/24h | 24h/36h<br>12h/36h<br>1h/36h |
| <b>R0</b>                                     | -       | +/-               | -/-/-                        | -      | -/-               | +/-/-                        |
| <b>R30</b>                                    | -       | +/-               | -/-/-                        | -      | -/-               | +/-/-                        |
| <b>R100</b>                                   | -       | +/-               | -/-/-                        | -      | -/-               | +/-/-                        |

Tablica 13.: Prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja s obzirom na vrijeme prešanja kod papira izraženima u postocima

| Promjene učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja s obzirom na vrijeme prešanja |     |          |          |          |     |          |          |          |
|---|-----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|
|   | MD  |          |          |          | CD  |          |          |          |
|   | 1 h | 12 h     | 24 h     | 36 h     | 1 h | 12 h     | 24 h     | 36 h     |
| <b>R0</b>   | x   | -10,2151 | 7,672156 | -13,9729 | x   | -7,71605 | -10,4236 | 9,14748  |
| <b>R30</b>  | x   | -18,3766 | 1,441774 | -5,21137 | x   | -2,93884 | -34,3699 | 17,95511 |
| <b>R100</b>   | x   | -4,43824 | 2,111075 | -22,2328 | x   | -2,49723 | -7,8543  | 8,029648 |



Grafikon 13.: Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 13. kod papira za MD smjer

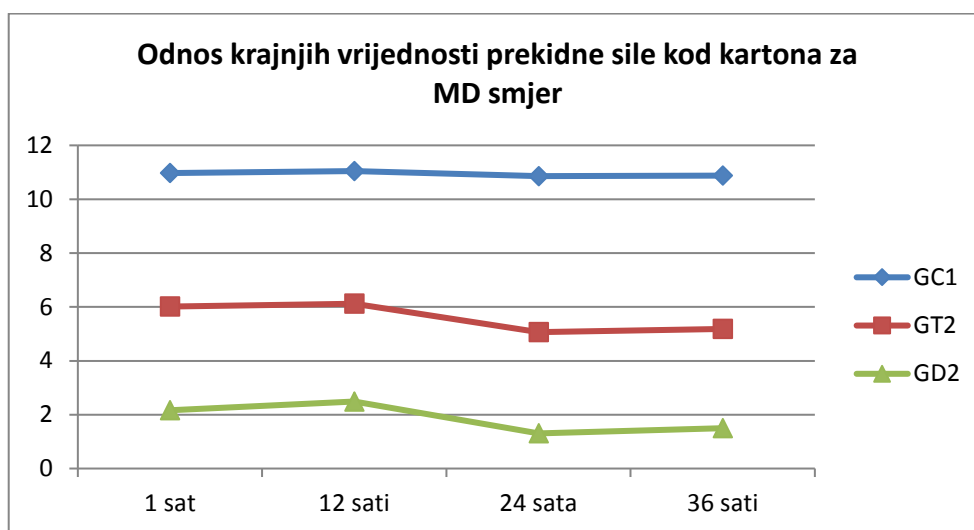


*Grafikon 14.: Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 13. kod papira za CD smjer*

Za ispitane uzorke kod kartona dobivene vrijednosti prikazane su brojčano u tablici 14. te grafički u grafikonu 15 i 16. Kod analize dobivenih vrijednosti nakon ispitivanja uzoraka kod kartona krenut ćemo od Lux Pack GC1 kartona. Najveća inicijalna čvrstoća lijepljenog spoja za MD smjer postignuta je nakon 12 sati sušenja i prešanja, dok je kod CD smjera najveća vrijednost postignuta nakon 36 sati. Kod usporedbe brojčanih vrijednosti kod oba smjera, vidljivo je da je čvrstoća inicijalnog spoja veća u MD smjeru u odnosu na CD smjer. Kod kartona Pro Pack GT2 možemo uočiti da je inicijalni spoj najčvršći nakon 12 sati kod MD spoja, dok je kod CD smjera to nakon 36 sati. U ovom slučaju je također vidljiva bitna razlika u kvaliteti lijepljenog spoja s obzirom na smjer toka vlaknaca, u korist MD smjera. U slučaju kartona Umka Color GD2 nema bitnije razlike s obzirom na smjer toka vlaknaca naspram dvije prethodne vrste kartona. Za MD smjer najveća čvrstoća postignuta je nakon 12 sati dok je za CD smjer to postignuto nakon 36 sati.

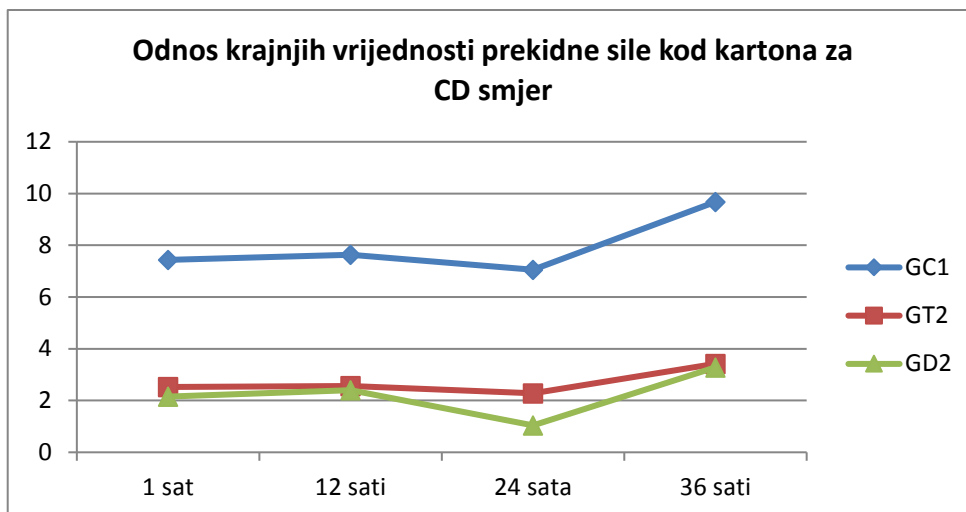
Tablica 14.: Prikaz krajnjih vrijednosti prekidne sile kod kartona za oba smjera toka vlakana i sva vremena prešanja

| Prikaz krajnjih vrijednosti prekidne sile kod kartona |        |        |        |        |       |       |       |       |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|   | MD     |        |        |        | CD    |       |       |       |
|   | 1 h    | 12 h   | 24 h   | 36 h   | 1 h   | 12 h  | 24 h  | 36 h  |
| <b>GC1</b>  | 10,968 | 11,045 | 10,858 | 10,873 | 7,436 | 7,640 | 7,056 | 9,678 |
| <b>GT2</b>  | 6,009  | 6,119  | 5,065  | 5,181  | 2,522 | 2,563 | 2,281 | 3,421 |
| <b>GD2</b>  | 2,165  | 2,489  | 1,305  | 1,495  | 2,155 | 2,407 | 1,040 | 3,283 |



Grafikon 15.: Prikaz odnosa krajnjih vrijednosti prekidne sile kod kartona za CD smjer





Grafikon 16.: Prikaz odnosa krajnjih vrijednosti prekidne sile kod kartona za CD smjer

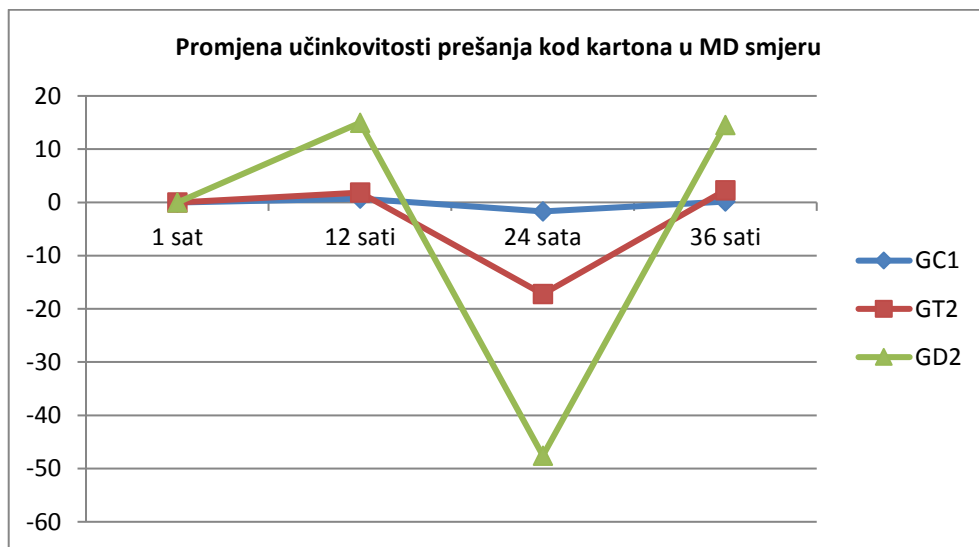
Kod kartona možemo odnose učinkovitosti ispitanih vremena sušenja i prešanja lijepljenih spojeva vidjeti prikazane u tablici 15. U prvoj koloni kod usporedbe rezultata od 1 h s 12 h, zabilježeno je povećanje vrijednosti u oba smjera toka vlaknaca. U sljedećoj koloni uspoređena vremena daju smanjenje inicijalne čvrstoće za oba smjera. Posljednja kolona kod MD smjera za prvu usporedbu bilježi povećanje, dok ostala dva slučaja bilježe smanjenje čvrstoće. Kod CD smjera vidljivo je smanjenje kod 24 sata, dok ostala dva slučaja bilježe povećanje.

Tablica 15.: Opisni prikaz odnosa krajnjih vrijednosti ovisno o vremenu prešanja kod kartona

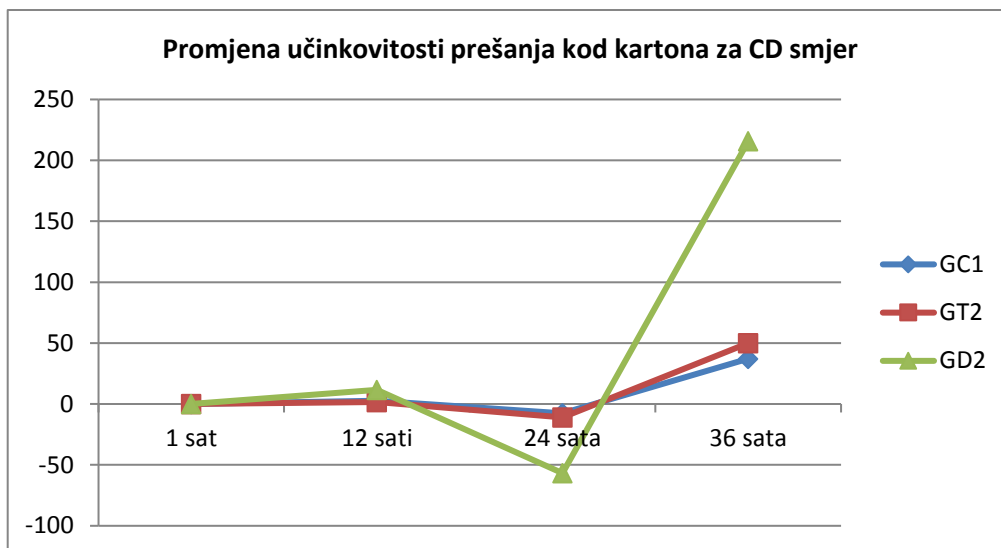
| Odnosi između krajnjih vrijednosti |        |                   |                              |        |                   |                              |
|------------------------------------|--------|-------------------|------------------------------|--------|-------------------|------------------------------|
|                                    | MD     |                   |                              | CD     |                   |                              |
|                                    | 1h/12h | 12h/24h<br>1h/24h | 24h/36h<br>12h/36h<br>1h/36h | 1h/12h | 12h/24h<br>1h/24h | 24h/36h<br>12h/36h<br>1h/36h |
| <b>GC1</b>                         | +      | -/-               | +/-/-                        | +      | -/-               | + /+ /+                      |
| <b>GT2</b>                         | +      | -/-               | +/-/-                        | +      | -/-               | + /+ /+                      |
| <b>GD2</b>                         | +      | -/-               | +/-/-                        | +      | -/-               | + /+ /+                      |

Tablica 16.: Prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja s obzirom na vrijeme prešanja kod kartona izraženima u postocima

| Promjene učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja s obzirom na vrijeme prešanja |     |          |          |          |     |          |          |          |
|---|-----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|
|   | MD  |          |          |          | CD  |          |          |          |
|   | 1 h | 12 h     | 24 h     | 36 h     | 1 h | 12 h     | 24 h     | 36 h     |
| <b>GC1</b>  | x   | 0,702042 | -1,69307 | 0,138147 | x   | 2,74341  | -7,64398 | 37,15986 |
| <b>GT2</b>  | x   | 1,830587 | -17,225  | 2,290227 | x   | 1,625694 | -11,0027 | 49,97808 |
| <b>GD2</b>  | x   | 14,96536 | -47,5693 | 14,55939 | x   | 11,69374 | -56,7927 | 215,6731 |



Grafikon 17.: Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 16 kod kartona za MD smjer



*Grafikon 18.: Grafički prikaz promjena učinkovitosti prešanja lijepljenog spoja prema vrijednostima iz Tablice 16 kod kartona za CD smjer*

## 7. ZAKLJUČAK

Provođenje testova adhezije kod proučavanja načina sljepljivanja materijala važno je za dobivanje kvalitetnih gotovih proizvoda u grafičkoj industriji. Ispitivanja sila adhezije vrlo su složena zbog puno parametara koji imaju utjecaj na krajnji rezultat. Zbog toga je važno pri takvim ispitivanjima utjecajne faktore držati na istoj razini tokom cijelog procesa ispitivanja, kako bi testirani parametar dao što optimalnije rezultate.

Uzevši u obzir sve navedene analize dobivenih rezultata ispitivanih spojeva u eksperimentalnom dijelu, možemo zaključiti da je kod papira najveća inicijalna čvrstoća postignuta nakon jednog sata sušenja i prešanja lijepljenog spoja. Sa svakim daljnjim povećanjem vremena prešanja zabilježeno je smanjenje čvrstoće. To možemo objasniti na temelju pojave puzanja kod ljepila, s obzirom da čvrstoća i trajnost lijepljenog sloja uvelike ovisi o osjetljivosti ljepila na puzanje. Puzanje lijepljenog sloja je posljedica popuštanja nekih veza među molekulama polimera pri konstantnom opterećenju i određenom vremenu njegovog trajanja. To dovodi do promjene oblika sloja ljepila, što direktno utječe na inicijalnu čvrstoću lijepljenog spoja.

U slučaju kartona najveća inicijalna čvrstoća lijepljenog spoja ostvarena je nakon 12 sati prešanja. Nadalje, zabilježeno je opadanje konačne čvrstoće nakon 36 sati prešanja u slučaju MD smjera, dok je za CD smjer vidljivo povećanje. Dobivene odnose možemo objasniti na temelju drugačije proizvodnje i strukture kartona. Pri proizvodnji kartona, jedna od osnovnih sirovina su vlakna drvenjače, koja mu daju veću žilavost i čvrstoću u odnosu na papir. Isto tako, kod premazanih kartona je otežano prodiranje ljepila u pore pri inicijalnom kontaktu, pa je dulje vrijeme prešanja bolje kako bi se postigla veća čvrstoća lijepljenog spoja.

Ovim ispitivanjem željela se skrenuti pozornost na jedan od često zanemarenih parametara pri formiranju lijepljenog spoja. Ispitivanjem se došlo do zaključka, a ujedno i preporuke, da je u slučaju ispitanih papira najbolje vrijeme za sušenje i prešanje jedan sat, dok je to kod kartona 12 sati. Ova preporuka se može primijeniti za uzdužni smjer toka vlaknaca, s obzirom na to da je kod dizajna spoja ispitivanih uzoraka spoj uglavnom formiran u tom smjeru. Rezultati provedenog ispitivanja daju

optimalne uvjete sušenja i prešanja lijepljenog spoja u svrhu daljnjih ispitivanja adhezijskih spojeva pri korištenju ovih istih materijala.

## 8. LITERATURA

- [1] Potisk Vinko (1997.) *Grafička dorada*, Školska knjiga, Zagreb
- [2] Novaković Dragoljub (2011.) *Obradni postupci povezivanja i spajanja materijala lepljenjem brošure*, Srbija; dostupno na:  
<https://www.scribd.com/document/238432917/Spajanje-i-Lepljenje> , Pristupljeno: 12.5.2017.
- [3] Bujanić B., Magdalenić Bujanić J. *Mehanizmi stvaranja lijepljenog spoja*; dostupno na [hrcak.srce.hr/file/124722](http://hrcak.srce.hr/file/124722); Pristupljeno: 13.5. 2017.
- [4] Ebnesaïjad Sina, Landrock H. Arthur (2008.) *Adhesives Technology Handbook*, William Andrew, USA
- [5] 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*; dostupno na:  
<http://www.cibisa.ulaval.ca/Publications/Effects%20of%20curing%20time%20and.pdf> , Pristupljeno: 14.5. 2017.
- [6] <http://www.testresources.net/>, Pristupljeno: 16.5.2017.
- [7] Petrie E., Bookbinding Adhesives; dostupno na: <http://www.adhesivesmag.com>, Pristupljeno: 14.5.2017.
- [8] <http://www.enciklopedija.hr> , Pristupljeno: 12.6. 2017.