

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

MARIO BRACIĆ

**UTJECAJ KRUTOSTI PAPIRA NA  
KVALITETU BEŠAVNE FORME S  
PUR LJEPILOM**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb 2017.



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko – tehnološki

MARIO BRACIĆ

# UTJECAJ KRUTOSTI PAPIRA NA KVALITETU BEŠAVNE FORME S PUR LJEPILOM

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.dr.sc. Suzana Pasanec Preprotić

Student:

Mario Bracić

Zagreb, 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Getaldićeva 2**

**Zagreb, 19. 6. 2017.**

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme diplomskog rada izdaje se

## **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Mariu Braciću, JMBAG 0128048122, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada diplomskog rada, pod naslovom: Utjecaj krutosti papira na kvalitetu bešavne forme s pur ljepilom, pod mentorstvom doc. dr. sc. Suzane Pasanec Preprotić.

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

1. izv. prof. dr. sc. Banić Dubravko, predsjednik/ica
2. doc. dr. sc. Pasanec Preprotić Suzana, mentor/ica
3. doc. dr. sc. Lajić Branka, član/ica



Dekan

Prof. dr. sc. Kladivo Pap

## SAŽETAK

Knjiga osim zadovoljavanja osnovnih knjigoveških kriterija nudi i sadržajne momente, što izravno znači da uvez knjige mora biti prilagođen njezinom značenju. Na prvom mjestu, meko uvezana knjiga treba zadovoljiti vizualna i taktilna osjetila čitatelja. Drugo, uvez knjige treba biti izdržljiv i prikladan za korištenje. Treće, svaka knjiga treba zadovoljavati potrebe čitatelja odnosno zahtjeve tržišta. Poduzimanje potrebitih mjera u postizanju njezine kvalitete odnosno izdržljivosti zahtjeva potpuno poznavanje grafičkog materijala (papir, ljepilo) i tehnologija bešavne (lijepljene) forme uveza. Svojstva papira imaju izravan utjecaj na kvalitetu uveza samo onda ako je vrsta ljepila uskladiva s papirom. Dakle adhezivnost papira (bindability), krutost papira (drapeability), format knjige i debljina hrpta knjižnog bloka neki su od čimbenika koji djeluju izravno na otvaranja i listanja stranica knjige. Kvaliteta uveza utvrđena je samo onda ako u momentu njezina otvaranja listovi stranica obiju polovica knjige čine jednu naslagu koja od linije uveza naglo rastu, a zatim se blago spušta prema njezinim krajevima svaka na svoju stranu. Cilj je istražiti utjecaj debljine papira na kvalitetu uveza s PUR ljepilom. Pretpostavlja se kako manje gramature premazanih papira daju bolju kvalitetu uveza za veće opsege knjižnog bloka. Korištenjem kvantitativnih metoda vrednovanja krutosti papira na slobodni pad i čvrstoće knjižnog bloka utvrditi će istinitost tvrdnje.

Ključne riječi: meki uvez, krutost papira, čvrstoća knjižnog bloka, PUR ljepilo

## **ABSTRACT**

The book besides satisfying the basic book-critics also offers content, which means that the book binding must be adapted to its meaning. In the first place, a softly bound book should satisfy the visual and tactile sensations of the reader. Second of all, the book binding should be durable and convenient to use. Third, each book should meet the needs of the reader or the market demands. Taking the necessary measures to achieve its quality or durability requires full knowledge of graphic material (paper, glue) and seamless bonding technology. Paper properties have a direct impact on the quality of the binding only if the adhesive type is synchronous with the paper. Thus, bindability, drapeability, book format, and the thickness of the library block are some of the factors that directly affect the opening and browsing of a book's pages. The quality of the collar is only established if at the moment of its opening, the pages of the open book make up a resemblance that suddenly grows from the binding line, then tread treadily towards each other's side. The aim is to investigate the effect of paper thickness on the quality of the PUR glue. It is assumed that less grammage of coated paper yields better binding quality for larger bookcase ranges. By using quantitative methods of paper stiffness determination on the free fall and strength of the library block, it will determine the truth of the claim.

Key words: soft binding, paper stiffness, library block strength, PUR glue

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	Izbor problema.....	1
1.2	Cilj i zadatci .....	1
2	TEORIJSKI DIO.....	2
2.1	Pregled razvoja knjigoveštva .....	2
2.2	Papir.....	4
2.2.1	Osnovni sastav papira .....	4
2.2.2	Papir kao tiskovna podloga.....	5
2.2.3	Svojstva papira.....	6
2.2.4	Utjecaj svojstava papira na čvrstoću knjižnog bloka.....	9
2.2.5	Drape faktor-krutost papira pri slobodnom padu.....	11
2.3	Ljepila u knjigoveštvu .....	13
2.3.1	Način vezivanja.....	13
2.3.2	Polivinil-acetat emulzije (PVAc).....	14
2.3.3	Hot-melt-taljiva ljepila (EVA).....	16
2.3.4	Poliuretanska ljepila (PUR) .....	18
2.3.5	Čvrstoća hrpta knjižnog bloka tretiranog taljivim ljepilom.....	21
2.4	Bešavni uvez .....	24
3	EKSPERIMENTALNI DIO .....	25
3.1	PLAN RADA I METODE ISTRAŽIVANJA .....	25
3.2	Proces proizvodnje mekog uveza knjige sa PUR ljepilom .....	27
3.3	Korišteni strojevi i uređaji.....	31
3.3.1	Brzorezač Eurocuter 1160 .....	31
3.3.2	Stroj za savijanje tiskovnih araka GUK 72/4 KTL.....	32
3.3.3	Stroj za ljepljenje KB za JKK ( <i>perfect binder</i> ) Horizon BQ-470 PUR....	32
3.3.4	Trorezač Hydromat .....	34
3.3.5	Mjerni uređaj IDM Page Pull Tester Model: P0011 .....	34
3.3.6	Sprava za mjerenje krutosti papira <i>Drap faktor</i> .....	35
3.3.7	Korišteni materijali .....	36
4	REZULTATI I ISPITIVANJA .....	38
4.1	Rezultati čvrstoće KB.....	38
4.2	Rezultati <i>drape faktora</i> - krutosti papira prema Jermanovoj metodi.....	41
4.3	Diskusija.....	48
5	ZAKLJUČAK.....	61
6	LITERATURA .....	63

# 1 UVOD

## 1.1 Izbor problema

Površinski premazani papiri različitih gramatura (90, 115, 135, 150, 170 g/m<sup>2</sup>) koriste se u istraživanju. Za ukupno 50 knjiga korištena je bešavna forma uveza za pet različitih gramatura papira, na stroju za meki uvez Horizon BQ-470 s PUR ljepilom. Format knjige 16x24 cm sadrži knjižne slogove opsega 16 stranica. Hrnat knjige je debljine 4 cm, na njemu je označeno sedam pozicija. Pozicije služe za vrednovanje čvrstoća slijepjenog spoja (IDM Page Pull Tester P0011), rezultati se uspoređuju sa standardom FOGRA. Nepomičan hrnat knjige svojstven je za lijepljeni uvez, dodatno je ispitivana krutosti papira pri njegovom slobodnom padu. Izračunavanjem "drape" faktor-a (Jermann-ova metoda) za kratki tok (CD) vlakana papira u knjižnom bloku, može se odrediti kvaliteta njezina otvaranja s obzirom na gramaturu.

## 1.2 Cilj i zadatci

Cilj istraživanja je utvrditi kvalitetu uveza lijepljene knjige s nepomičnim hrptom. Otvaranje knjige „bez radijusa“ je otežano i oštećenja su vidljiva na njezinom hrptu. Pretpostavka je da knjiga većeg opsega daje izvrsnu kvalitetu uveza s tanjim papirima. Kontrolirano kretanje hrpta knjige rezultat je pravilne konstrukcije knjižnog bloka i odabira papira. Pretpostavka je da deblji papiri nemaju sklonost slobodno padati na stranice knjige, zahtijevaju primjenu sile od strane čitatelja za njezino potpuno otvaranje. Zato porast potencijalne energije u papiru negativno djeluje na njezin uvez. Ljepilo izravno neutralizira i kompenzira naprezanja na hrptu knjige, dok se stranice mogu slobodno kretati u prostor. Iz tog razloga je elastično PUR ljepilo korišteno u istraživanju.

## 2 TEORIJSKI DIO

### 2.1 Pregled razvoja knjigoveštva

U razdoblju od 7000 godina knjiga je mnogo puta mijenjala svoja oblik, ovisno o materijalima od kojih je izrađivana, načinu pisanja na tim materijalima, te načinu na koji su oni bili umotani odnosno uvezivani. Svitak je bio jedan od prvih oblika knjige, od papirusa na kojem se pisalo samo s jedne strane i koji se prilikom čitanja premotavao. [1]

U 5. stoljeću se pojavljuje današnji oblik knjige, kada kodeks u potpunosti potiskuje knjižne svitke. Korice kodeksa ukrašavaju se plemenitim metalima, pločicama bjelokosti i emajlom, dragim kamenjem te filigranskim radovima. Početkom 14. stoljeća, kožnate korice kodeksa najčešće se ukrašavaju decentnim linijama reza.[2]

Izdanje prve tiskane knjige, Gutenbergove Biblije, početak je potražnje knjiga na tržištu u drugoj polovici 15. stoljeća.[3]

Razvitak tiskarstva i knjigoveštva izravan je doprinos razvitku znanosti. Tada su temeljni kriteriji pri određivanju vizualne procjene kvalitete knjige bili elementi oblikovanja pisma i estetika uvezivanja knjige. U periodu renesanse ravna ljepenka zamjenjuje drvene korice. Karakteristika kožnatog uveza je prevladavanje orijentalnih motiva otisnutih tehnikom zlatotiska. U razdoblju baroka i rokoka korice su preopterećene ukrasima. U 19. stoljeću korice dobivaju prepoznatljive karakteristike romantičkog stila, s novim motivima klasicizma.

Karakteristike „nakladničkog uveza“ prepoznatljive su u drugoj polovici 19. stoljeća, početkom industrijske proizvodnje papira i uporabom prvih strojeva za uvezivanje knjiga u knjigoveštvo. Razvoj tehnologije i industrije na svim područjima pridonosi novim spoznajama fizikalno-kemijskih odnosa materije, što je izravni pokazatelj brzog razvoja industrijskih postupaka proizvodnje materijala (papir, ljepilo).[4] Specifične karakteristike strojeva u knjigovežnici izravan su doprinos „masovnoj“ industrijskoj proizvodnji knjiga. Karakteristike „slijepljenog spoja“ knjige razlikuju se, a karakteristike umjetničkog uvezivanja ostaju nepromijenjene.

Zastupljenost strojnog i ručnog uvezivanja knjiga danas je najčešća. Dakle, prerađivanje i krojenje jednakih dijelova materijala određene naklade te cjelokupan proces uvezivanja model je strojne izrade knjiga.



Knjiga predstavlja svaki pismom fiksirani jezični dokument većeg opsega, zabilježen na lako prenosivom materijalu, te jedan od tehnološki najzahtjevnijih knjigoveških proizvoda. Sastoji se od knjižnog bloka i korica. UNESCO-va definicija glasi da je knjiga ukoričena tiskana publikacija koja ima najmanje 49 stranica, tj. tiskana kolekcija papira. [5]

Knjigu kao grafički proizvod definiramo kao skup tiskanih listova papira spojenih u knjižni blok i uvezanih u korice. U ovu se definiciju ubrajaju i knjige s listovima bez tiska zbog dorade i načina uveza. Knjiga nastaje u dvije faze: prva faza je autorska izvedba rukopisa, a druga faza je “pretvaranje” rukopisa u grafički proizvod - knjigu. U drugoj fazi grafički dizajner rukopis preoblikuje u knjigu i o njemu ovise format, vrsta i forma knjige, njen opseg, izbor uveza, vrste i gramature papira, izbor vrste i veličine pisma i proreda kojim će biti prelomljena i otisnuta knjiga. O svim tim elementima ovisi i čitljivost knjige. [6]

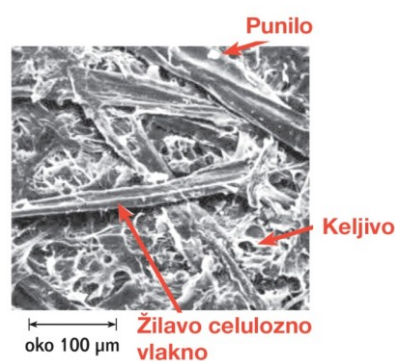
## 2.2 Papir

U današnjem obliku, papir se kao podloga za pisanje, pojavio se u Kini oko 105. godine. Do tada se uglavnom pisalo na svili. Dosta veliki period proizvodnja papira je bila strogo čuvana tajna. Tek nakon 500 godina papir se počeo proizvoditi i u Koreji, te nešto kasnije u Japanu. Oko 750. godine u arapskim zemljama je počela proizvodnja papira iz krpa koja se izvodila mljevenjem na kamenim mlinovima da bi se dobila potrebna vlakanca. Pritom su se upotrebljavala sita sa mrežicom ispletenom iz metalnih niti, a kao ljepilo koristio se škrob dobijen iz prosijanog pšeničnog brašna. Pri proizvodnji Arapi su ga počeli bojiti te izrezivati papir u točno definirane formate. [7]

U Europi se papir počeo proizvoditi znatno kasnije (tek oko 1100. godine). U to vrijeme postojale su prve radionice za ručnu izradu papira, smještene na Siciliji i u Valenciji. U 14-om stoljeću osnivaju se prve papirne radionice, od kojih je u Njemačkoj najstarija iz 1390. godine. Nove sirovine za izradu papira pojavljuju se godine 1870. godine. To su: bijeljena celuloza iz slame i natronska celuloza iz drva četinjača. Proizvodnja sulfitne celuloze iz četinjača počinje godine 1884. Ipak, pravi tehnološki napredak za masovnu industrijsku proizvodnju papira, i upotreba drveta kao baze za osnovnu sirovinu, počeo je tek u prvoj polovici dvadesetog stoljeća. [7]

### 2.2.1 Osnovni sastav papira

Papir se definira kao tanka plošna tvorevina dobivena ispreplitanjem celuloznih vlaknaca, kojima su dodana punila, keljiva i boje. Sirovine od kojih se proizvode celulozna vlakanca najčešće su drvenjača, jednogodišnje biljke, krpe i stari papir.



Slika 1. Mikroskopski prikaz papirne površine

Izvor: Holik H.; *Handbook of Paper and Bord*, str 124, Verlag GmbH & Co. KGaA

Punila se dodaju s ciljem da se poboljšaju tiskovna svojstva papira. Ona ispunjavaju međuprostore vlaknaste tvari koja stvara mrežastu strukturu (Sl. 1). Punilo povećava krutost

papira, utječe na njegovu poroznost, povećava mu gramaturu, apsorbira vodu i povećava opacitet i bjelinu papira.

Keljiva povećavaju žilavost papira, utječu na sposobnost močenja, drže kolorante na površini papira i poboljšavaju mu glatkoću. Keljiva su najčešće PVA (PoliVinilAlcetat) i škrob. Pri izradi papira keljiva se dodaju u masu, ili se mogu nanositi na površinu već formiranog lista papira. Prema vrsti papira dodatak keljiva se može fino regulirati pomoću stupnjeva keljenja. Tiskovni papiri su obično  $\frac{1}{2}$  do  $\frac{3}{4}$  keljeni, no za višebojni tisak (npr. ofsetni tisak) koriste se i punokeljeni papiri. [8]

## 2.2.2 Papir kao tiskovna podloga

Papir je danas najčešće korištena tiskovna podloga u grafičkoj industriji. Ovisnost sirovine o konačnoj vrsti papira dana je u tablici 1.

Tablica 1. Sirovine i procesi u proizvodnji papira

Izvor: Lehtinen, E. „Papermaking Science and Technology“, Fapet Oy, Helsinki 1999, in cooperation with Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI.

SIROVINE	DRVENJAČA		Jednogodišnje biljke slama, trska, pamuk	KRPE	STARI PAPIR	Punila (kaolin, kalcij karbonat, titan dioksid)
Proizvodnja	mehanički sjeckanje   brušenje		kemijsko brušenje	kemijski	kemijski/ mehanički	reciklacija
Proizvedeno vlakno	smljevena kaša	pročišćena kaša	Kemijska kaša		čista celulozna vlakna	reciklirana vlakna
	primarno vlakno				sekundarno vlakno	
završni proizvod s dominantnim udjelom vlakanca	novine, papir za časopise pisači/tiskovni papiri  srednje fini papiri i papir sa sadržajem drva		pisači papir tiskovni papir (premazan i nepremazani) papirnate vreće  (bezdrvni papir)		papir za novce zaštitni papiri časopisni papiri	novine kartonske kutije  udio punila je do 30%

Različite vrste papira, različitih kemijskih i fizikalnih svojstava, dobivaju se ovisno o pripremi celulozne sirovine. Raznim dodatcima u toku proizvodnje (keljiva, punila, bojila, itd.), papiru se poboljšavaju i optička svojstva. Općenito se papiri dijele u četiri osnovne skupine: bezdrvni papiri (primarano celulozna vlakno), papiri s većinskim udjelom drva tzv. volumenozni, papiri rađeni od starog papira i papiri od krpa (sekundarno celulozna vlakno).

Važna uloga pri proizvodnji grafičkog proizvoda također je i gramatura papira, koja se na papirnom stroju određuje količinom nanijete vlaknaste suspenzije. Po Klemmu papiri se dijele na 3 kategorije: papire (do  $150 \text{ g/m}^2$ ), kartone (od 250 do  $450 \text{ g/m}^2$ ) i ljepenke (preko  $600 \text{ g/m}^2$ ). [7]

Na kvalitetu gotovog grafičkog proizvoda velik utjecaj ima i površina papira koja se dodatno oplemenjuje raznim doradnim procesima. To može biti premazivanje, impregniranje, pergamentiranje, laminiranje, itd. Najčešći postupak dorade papira je premazivanje, pa tako papire dijelimo na premazane papire i nepremazane papire (naravne). Nepremazani (naravni) papiri vrlo su učestali te ih možemo primjenjivati za razne namjene. Ovisno o njihovoj namjeni, razlikujemo sljedeće tipove naravnih papira:

- ofsetni papiri
- reciklirani papiri
- listovni papiri
- papiri s vodenim znakom
- knjižni papiri
- novčani papiri
- transparentni papiri
- papiri za elektrofotografiju
- papiri za Ink Jet.

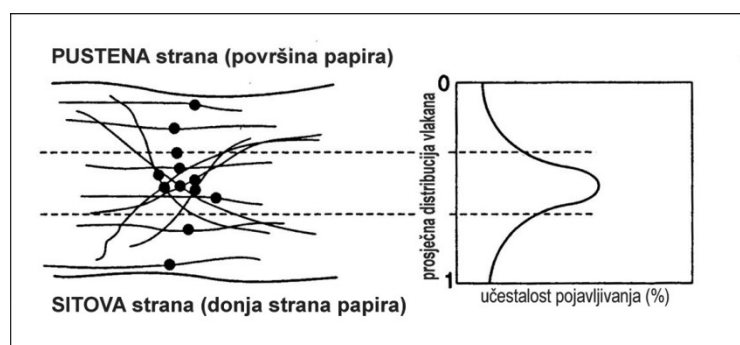
Naravni papiri najčešće se primjenjuju u visokom, dubokom i plošnom tisku. Isporučuju se u osnovnim formatima papira (araka) kao i u obliku role. Premazani papiri nastaju u doradnoj fazi proizvodnje papira. Premazi se sastoje od mješavine pigmenata, veziva i optičkih bjelila. Premazivanje se može provesti na razne načine: špricanjem, nanošenjem premaza rakelom, četkama ili valjcima. Premaz se može nanijeti u više slojeva, jednostrano ili obostrano. [9]

### 2.2.3 Svojstva papira

Mehanička i površinska svojstva papira izravno utječu na promjenu čvrstoće slijepljenog spoja kada se koristi hot-melt ljepilo u knjigoveštvu. Poznavanje svojstava papira temeljni je uvjet za postizanje standardne kvalitete uveza, budući da neelastična svojstva hot-melt ljepila izravno uzrokuju slabljenje čvrstoće adhezijske veze.[10]

Za industrijski uvez lijepljene knjige upotrebljava se papir proizveden većim dijelom od primarnog celuloznog vlakna (eng. *the high grades papers*).[11]

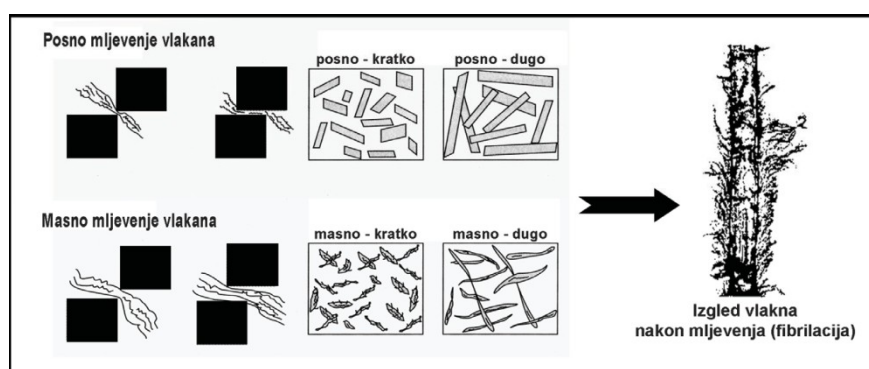
Stohastička mreža isprepletenih celuloznih vlakana čini primarnu strukturu papira. Anizotropnost papira utječe na promjenu mehaničkih svojstava papira s obzirom na smjer djelovanja vanjske sile, što zapravo utječe i na promjenu čvrstoće slijepljenog spoja.[12] Struktura lista papira nije jednaka na cijeloj površini presjeka lista papira. Učestalost pojavljivanja vlakana najveća je u srednjem dijelu, a najmanja na pustenoj (A) i sitovoj (B) strani lista papira (sl. 2.).



Slika 2. Prosječna distribucija vlakana kroz presjek površine lista papira [12]

Suprotno tome, učestalost pojavljivanja pojedinačnog vlakna u svim smjerovima rezultira povećanjem mehaničke čvrstoće lista papira.[12] Veća otpornost lista papira na kidanje je u smjeru proizvodnje papira, jer se pojedinačno vlakno intenzivnije povezuje s ostalima u mreži.

Svojstva bezdrvnog (eng. *wood-free*) i voluminoznog (eng. *bulky*) papira razlikuju se obzirom na način obrade vlaknaste sirovine. [13] Stupanj mljevenja i način rezanja vlakana može biti posno i masno. Karakteristike mljevenja utječu na promjenu površine stjenke vlakna (sl. 3).



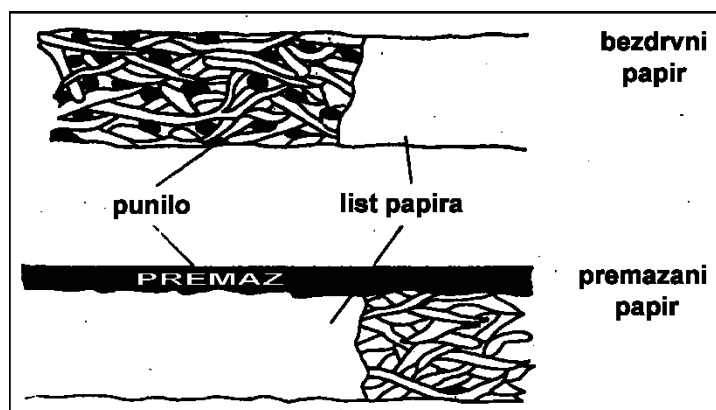
Slika 3. Utjecaj načina mljevenja vlakna u stvaranju fibrila i mikro fibrila (povećanje 480 x) [13]

Posnim mljevenjem vlakno se samo mehaničkim postupkom skraćuje, za razliku od masnog mljevenja, u kojem nastaju mehaničke promjene na stjenci vlakna, tzv. fibrilacija. Na površini stjenke vlakna nalaze se resice. Resice fibrila i mikro fibrila uzrokuju povećanje papirne mase odnosno povećanje specifične površine vlakna. Dimenzionalna stabilnost i smanjenje poroznosti bezdrvnog papira osnovni su pokazatelji fibrilacije vlakna. Suprotno tome, posnim mljevenjem se tretira vlakno u voluminoznom papiru. Smanjenje dimenzionalne stabilnosti i povećanje poroznosti te vrste papira rezultat je skraćivanja

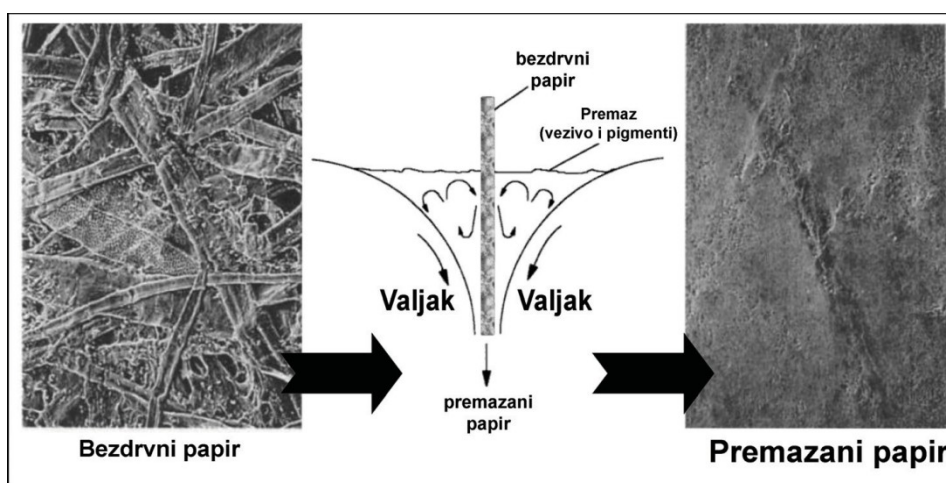
dužine celuloznog vlakna, gdje higroskopne karakteristike stjenke vlakna ostaju nepromijenjene.

Morfologija, način i stupanj mljevenja vlakna, postotni udjel čestica punila i stupanj keljenosti papira su faktori utjecaja na njegovu mehaničku čvrstoću.[14]

U tehnološkom se procesu proizvodnje papira najčešće aplicira premaz (eng. *surface coating*) kako bi povećao njegova mehanička i optička svojstva za potrebe osnovne grafičke proizvodnje.[13] Gruba podjela premazanog papira uključuje osnovnu kompoziciju papira i premazani sloj (sl. 4. i 5.). Slojevita mreža isprepletenih vlakana u koje je ukomponirano punilo keljivo i dodaci čini osnovu papira. Premazani sloj ima ulogu poboljšanja svojstava površine papira (optička svojstva, gramatura i debljina papira).[15]



Slika 4. Osnovna funkcija čestica punila u papiru [15]



Slika 5. Tehnološki postupak oplemenjivanja papira [15]

Visoko kvalitetni pigmenti i veziva osnovni su sastojci površinskog premaza. Osnovna funkcija pigmenata je podržati strukturu fine poroznosti [17], najčešće se koriste: kalcijev karbonat, kaolin, titanov dioksid.[18] Čestice pigmenata vezane su za papir, ali i međusobno vezivom. Veziva u obliku vodene otopine ili polimerne emulzije najčešće se koriste za površinski premaz.[19] Premaz može biti jednoslojan ili višeslojan. Volumni udjel pora u premazu pokazuje površinsku hrapavost premazanog papira koja se određuje kvantitativnom metodom površinske hrapavosti papira. Površinska hrapavost sljedeća je bitna karakteristika papira. Hrapava površina papira sadržava razne pukotine i otvore koji jedini omogućuju mehaničko vezanje taline ljepila u pukotine i otvore na površini papira. Suprotno tome, oplemenjeni papiri pokazuju znatno manju površinsku hrapavost od nepremazanog bezdrvnog i voluminoznog papira. Specifične karakteristike glatkoće površinskog premaza (sjajni, mat) utječu na znatno smanjenje površinske hrapavosti papira na makrorazini. Osnovna zadaća površinskog premaza je zatvaranje makropora na pustenoj (A) i sitovoj (B) strani lista papira.

Debljina (eng. *thickness*),  $d(\mu\text{m})$  je makroskopska karakteristika strukture papira. Specifični volumen odnosno prostorna masa papira (eng. *bulk*) ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) se izračunava iz gramature (eng. *basic weight*) ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) i debljine papira. Voluminoznost se može opisati kao slojevita mreže isprepletenih vlakana s pukotinama kada se promatra kroz presjek debljine papira. Mehanička svojstva i dimenzionalna stabilnost papira interpretirane su temeljem kontaktnih površina između vlakana.[12]

#### 2.2.4 Utjecaj svojstava papira na čvrstoću knjižnog bloka

Svojstva papira možemo grupirati u nekoliko skupina i neka od tih svojstava imaju izravan utjecaj na čvrstoću knjižnog bloka [14]:

*Opća svojstva papira :*

Debljina papira: utječe na povećanje čvrstoće slijepljenog spoja, povećanjem debljine papira povećava se fizikalni kontakt površine vlakana s ljepilom.

Gramatura papira: papiri veće gramature izravno utječe na povećanje čvrstoće adhezijske veze, dok papir manje gramature pokazuje veća savijanja hrpta.

Prostorna masa (specifični volumen) ili gustoća papira: definirana je kao volumen 1 g papira izražen u  $\text{cm}^3$ , a papir većeg volumena povećava rezultate čvrstoće slijepljenog spoja.

Uzdužni i poprečni smjer lista papira: kako bi uvez bio čvršći i stabilniji važno je da smjer izrade papirne trake teče paralelno s hrptom knjige, tj. linijom veza.

#### *Svojstva površine papira:*

Glatkost ili hrapavost: povećanjem hrapavosti povećava se dodirna površina s ljepilom, te je slijepljeni spoj čvršći.

Prašenje papira: tijekom prerade papira sitne čestice prašine se oslobađaju s površine papira i nakupljaju se na rubovima lista gdje mogu smanjiti kvalitetu slijepljenog spoja, stoga se u bešavnom uvezu knjiga, prilikom obrade hrpta knjižnog bloka, usisavačima odvodi papirna prašina iz pukotina papira i povećava hrapavost tj. dodirna površina papira i ljepila što rezultira povećanjem čvrstoće slijepljenog spoja.

#### *Svojstva lista papira:*

Upojnost: u listu papira se nalaze šupljine koje utječu na prodiranje tekućine u papir, tj. njegovu upojnost, a ovisno o načinu izrade papir ima više ili manje šupljina (više je ili manje upojan) što utječe na jače ili slabije prodiranje ljepila u strukturu papira što pak utječe na čvrstoću slijepljenog spoja.

Dimenzionalna stabilnost: povećanjem vlage u papiru vlakna nabubre i dolazi do ekspanzije u poprečnom smjeru lista papira, zbog čega je nužno da uzdužni smjer vlakana slijedi liniju uvezivanja, jer bi u suprotnom došlo do pucanja ljepila i slabljenja slijepljenog spoja zbog promjene dimenzije papira

Keljenost: keljenjem se zatvara sama površina lista papira, te papir poprima hidrofoban karakter što poboljšava kvalitetu otiskivanja, ali negativno utječe na upojnost taljivog ljepila koje teže prodire u strukturu papira i time je čvrstoća slijepljenog spoja smanjena.

#### *Mehanička svojstva papira :*

Otpornost prema kidanju: papir s većom otpornošću prema kidanju ima sposobnost urezivanja većeg broja pravilnih ureza na hrptu knjižnog bloka [11].

Otpornost prema savijanju-krutost: u formi bešavnog uveza ovo je svojstvo važno jer papiri manje gramature imaju manju otpornost na savijanje što utječe na proces obrade hrpta knjižnog bloka i uslijed povećanog savijanja stvaraju se urezi nepravilnog oblika na hrptu i smanjuje se njihova učestalost po jedinici duljine što smanjuje kvalitetu bešavnog uveza.

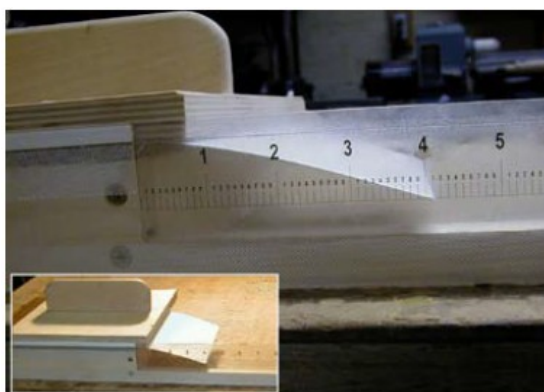


### *Optička svojstva papira :*

Sjajnost: postiže se kalandriranjem, premazivanjem i glačanjem premaza, a sjajni papir ima manju površinsku hrapavost što smanjuje sposobnost mehaničkog vezanja taline ljepila u pukotine i otvore na površini papira, te time smanjuje čvrstoću lijepljenog spoja.

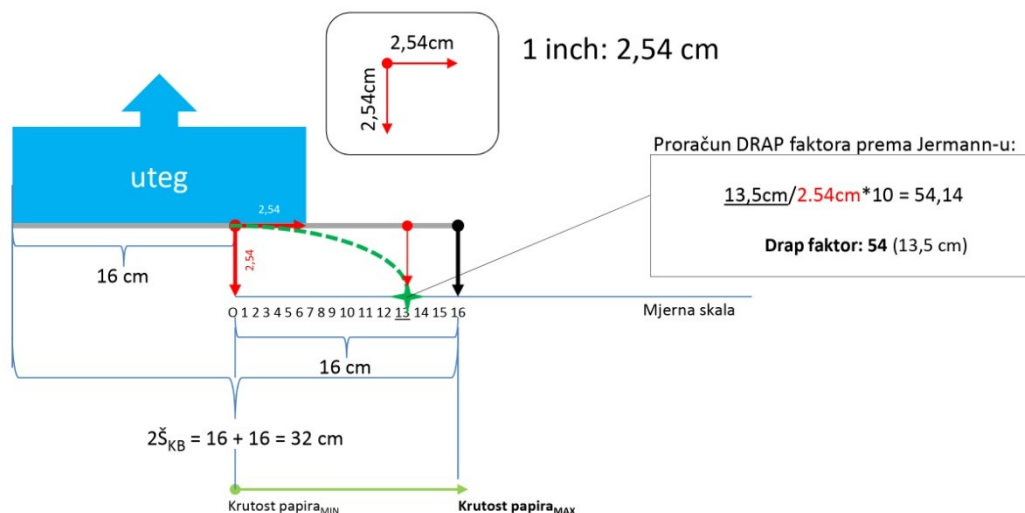
#### 2.2.5 Drape faktor-krutost papira pri slobodnom padu

Tri značajna obilježja papira koja izravno doprinose i utječu na kvalitetu uveza su krutost papira pri slobodnom padu („Drape“ faktor), adhezivnost papira (bindability) i kohezivnost/adhezivnost papira (površinski premazi). Pojam „drapeability“ se odnosi na sposobnost papira da slobodno/prirodno pada na otvorene stranice knjige. Papiri veće krutosti nisu skloni slobodno padati, već zahtijevaju primjenu sile od strane čitatelja kako bi se knjiga u potpunosti otvorila. „Drape“ faktor služi kao sredstvo za uspoređivanje potencijalnih energija koje različiti papiri mogu pokazati na liniji lijepljenja. Povećanjem potencijalne energija onemogućen je slobodan pad lista papira na ostale stranice pa se knjiga ne otvara u potpunosti. Povećanjem krutosti papira povećava se i „Drape“ faktor. Velika potencijalna energija papira djeluje negativno na uvez knjige. Ljepilo izravno neutralizira i kompenzira naprezanja u hrptu tako da se stranice mogu slobodno kretati u prostor. Suprotno tome, ako se povećava „Drape“ faktor, ljepilo nije u mogućnosti neutralizirati i kompenzirati naprezanja, a posljedica toga je otežano otvaranje stranica knjige. Dakle, što je „Drape“ faktor veći, povećavaju se i naprezanja u ljepilu što konačno dovodi do deformacije hrpta knjige. Kao posljedica usmjerenosti čitatelja da zadrži knjigu otvorenom.



*Slika 6. Uređaj Pete Jermanna za mjerenja Drap faktor*

Drapabilnost papira se može mjeriti na relativnoj skali. Pete Jermann je konstruirao jednostavni uređaj koji mjeri ono na što se referiramo kao "drape faktor".



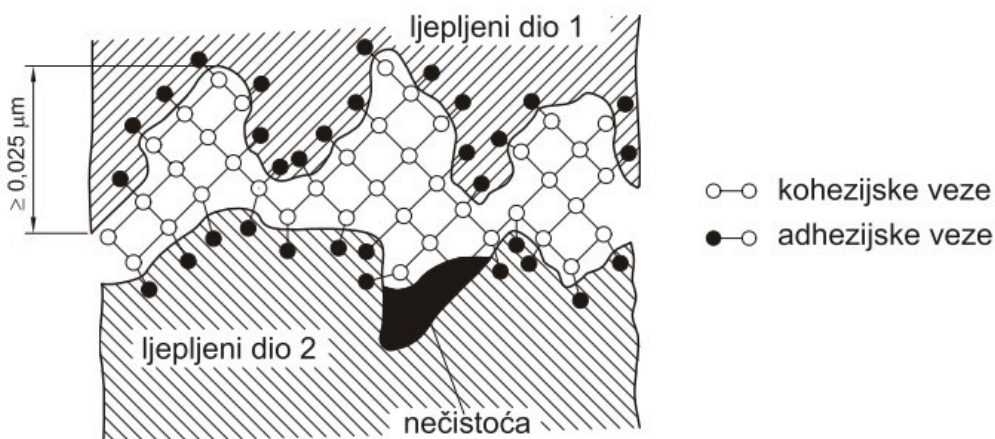
Slika 7. Proračun Drap faktora

Kako bi izračunali „Drap faktor“ potrebno je konstruirati uređaj prema nacrtu sa slike 7. List papira koji odgovara veličini otvorene knjige ili grafičkog proizvoda koji ćemo promatrati u ovom slučaju je formata 32 cm širine i 24 cm visine. List papira se stavlja pod opterećenje odnosno fiksira do svoje polovine s obje strane, dok je s gornje strane pritisnut u duljini od jednoga inča u odnosu na donju stranu. Od podloge može biti odmaknut 5 inča, a mjerenje se vrši na visini od jednoga inča. Na slici 7. vidimo da u ovom slučaju minimalna krutost (drapability) papira bi bila u poziciji 0 cm a maksimalna krutost bi bila kada se papir ne bi savinuo te bi njegova duljina na mjernoj skali ostala na 16 cm. U našem konkretnom slučaju papir se savinuo na mjernoj skali na 13,5 cm, što bi preračunato prema Jermanu bilo odklon od 54, odnosno Drap faktor za ovaj list papira bio bi 54.

## 2.3 Ljepila u knjigoveštvu

### 2.3.1 Način vezivanja

Ljepila su nemetalne tvari koje spajaju istovrsna ili različita tijela adhezijom i kohezijom, a istodobno nema značajne promjene strukture tih tijela. Pri tom su kohezivne sile veće od adhezivnih. Adhezija je sila povezivanja između ljepila i površine materijala koji se lijepi. Ona je tim bolja što je veći međusobni kontakt. Kohezija je sila povezivanja između molekula u samom ljepljivom sloju ljepila. Ona je bolja što je tanji i ravnomjerniji nanos ljepila. Adhezivno-kohezivni mehanizam spajanja lijepljenjem se ostvaruje kod većine lijepljenih materijala kao što su metali, termo-plastične mase, porozni materijali kao drvo, koža, papir, tekstil, zatim neorganski materijali, keramika. [20]



Slika 5.: Fizikalna građa lijepljenog spoja [20]

Načini vezivanja ljepila obzirom na proces lijepljenja mogu biti:

- **silom:** u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti silu
- **temperaturom:** u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti temperaturu
- **vremenom:** u procesu lijepljenja potrebno je osigurati vremenski interval u kojem će spojeni dijelovi ostati međusobno nepomični

Za učvršćivanje ljepila potrebno je određeno vrijeme, što ovisi o vrsti ljepila i vrsti materijala koji se sljepljuje:

- **vrijeme očvršćivanja ljepila:** vrijeme od trenutka miješanja komponenti do trenutka potpunog očvršćivanja

- **radno vrijeme:** vrijeme tijekom kojeg su pomiješane komponente ljepila još upotrebljive i nešto je kraće od vremena očvršćivanja
- **otvoreno vrijeme:** vrijeme nanošenja ljepila do stavljanja spoja pod tlak.

Kod preopterećenog zalijepljenog spoja može nastati lom:

- **adhezijski lom:** između sloja ljepila i papira
- **kohezijski lom:** u masi sloja ljepila ili u masi papira (neposredno uz liniju uvezivanja).

Lijepljenje je često ekonomičnije i povoljnije od drugih klasičnih načina spajanja kao što su npr. šivanje taljivim nitima, šivanje žicom i sl.

Ljepila su po svom sastavu različita kako bi zadovoljila lijepljenje različitih vrsta materijala. Za meki uvez se koriste tri osnovne vrste ljepila:

Polivinil-acetat emulzije (PVAc)

Hot-melt (taljiva) ljepila (EVA)

Poliuretanska ljepila (PUR)

### 2.3.2 Polivinil-acetat emulzije (PVAc)

Polivinil acetat emulzije su disperzije hladnog ljepila s oko 50% suhe tvari. PVAc je polimer vinil-acetata koje se održava u vodenim disperzija. PVAc emulzije se koriste kao ljepila za uvezivanje, međutim bez plastifikatora ona će postati tvrda i krhka nakon nekog vremena. Dodavanje plastifikatora će omekšati PVAc polimer. Tipična formulacija PVAc ljepila za uvezivanje knjiga prikazana je u tablici 2. [21]

*Tablica 2: Početna formulacija PVAc ljepila [21]*

<b>Početna formulacija PVAc ljepila za uvez knjiga</b>	
Polivinil-acetatna emulzija	90%
Dibutil ftalat plastifikator	6%
Toulen sulfonamid formaldehid	4%

Polivinil-acetatna emulzija sadrži i razne dodatke kao što su plastifikatori (omekšivači), otapala, punila, sredstva za povećanje početne ljepljivosti i sredstva za ugušćivanje koji se dodaju različitim polivinil-acetatnim emulzijama kako bi se dobila ljepila za posebne namjene. U tablici 3. su navedena opća svojstva tipičnog PVAc ljepila:

Tablica 3.: Opća svojstva PVAc ljepila [21]

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

Jednostavani esteri su omekšivači za PVAc ljepila. Oni su tvari koje tvore film oko čestica disperzije i time povećavaju udaljenost i smanjuju povezanost između njih. Na taj se način povećava fleksibilnosti filma ljepila i smanjuje minimalna temperatura potrebna za stvaranje filma. Eksterno plastificirani homopolimeri, kao što je PVAc, općenito će osigurati znatno jači uvez nego interno plastificirani kopolimeri. Eksterno plastificirana emulzija će otvrdnuti s migracijom plastifikatora u okolinu ili strukturu papira tijekom starenja. To rezultira s oko 100% povećanjem pull-test vrijednosti. Iako to povećanje snage postaje stabilno s vremenom, gubitak plastifikatora može biti štetan za druga svojstva, kao što su fleksibilnost i otpornost na hladnoću.

Otapala imaju sličan utjecaj na svojstva PVAc emulzije kao omekšivači, ali njihov učinak je privremen. Otapala koja imaju visoku kompatibilnost s PVAc, snižavaju temperaturu potrebnu za stvrdnjavanje filma ljepila, što pospješuje stvaranje homogenog filma. Kako otapalo na kraju u potpunosti ishlapi, ono ne utječe na mehanička svojstva ljepila. Otapala koja se obično koriste su alkoholi, esteri, ketoni i aromatskih ugljikovodici. Obično se dodaju u količinama 1% do 5% na suhu tvar PVAc ljepila.

Punila se dodaju PVAc ljepilu da bi smanjila cijenu, povećala sadržaj suhe tvari, viskoznost i gustoću, smanjila penetraciju, povećala izdržljivost i poboljšala svojstva filma za popunjavanje pora i pukotina. Punila su više ili manje inertni, neljepljivi materijali. Većinom se koristi gips, kalcijev karbonat, kaolin, glina i nemodificirani škrob. Organska

punila poboljšavaju svojstva ljepila, ali smanjuju otpornost na mikrobe. Udio punila ima snažan utjecaj na kvalitetu i svojstva ljepila. Prevelik udio smanjuje snagu lijepljenja. Organska punila se dodaju u malim količinama, za razliku od anorganskih, jer imaju mnogo veći utjecaj na smanjenje čvrstoće i povećanje viskoznosti ljepila. Organska punila se dodaju u količini od 5% do 10%, a anorganska i do 50% na suhu tvar PVAc ljepila. PVAc ljepilo se nanosi hladno. Kako se suši, smola prodire duboko u strukturu papira, formirajući čvrstu vezu. Ljepila na bazi emulzije za uvezivanje knjiga mogu biti teško primijenjiva zbog njihove niske viskoznosti i pjenjenja. Ona također mogu dati nedosljedne rezultate kada se primjenjuju nepravilno. Iako se ove emulzije ljepila mogu razrijediti vodom, ne smije se zaboraviti kako bilo koja promjena u količini vode značajno mijenja njihovu viskoznost. PVAc ljepila pružaju fleksibilniji hrbat od hot-melt ljepila. Za razliku od hot-melt ljepila, PVAc neće ispucati na ekstremnim temperaturama. [21]

### 2.3.3 Hot-melt-taljiva ljepila (EVA)

Etilen-vinil acetat (EVA) kopolimer se koriste kao osnovni polimer za hot-melt ljepila u grafičkoj industriji. Ne sadrže vodu ili otapala i zbog toga ih se može smatrati 100%-tnim krutinama. Temelje se na voskovima ili termoplastičnim polimerima, a boja im može biti od bijele do tamno smeđe, ovisno o sastavu. Hot-melt ljepila sadrže tri tvari: osnovni EVA polimer (daje snagu i izdržljivost), lijepljivu smolu (poboljšava prijanjanje) i vosak (obično parafin; smanjuje viskoznost). Osim toga tu su antioksidansi za toplinsku stabilizaciju. Kao što naziv implicira, EVA hot-melt ljepila se zagrijavaju neposredno prije primjene, što ih čini rastezljivima.

Kao "standardno" ljepilo koje se koristi u tradicionalnom mekom uvezu, EVA hot-melt je dostupan u doslovno stotinama formulacija, iako su neke karakteristike zajedničke za sve njih. Određene miješavine daju željena svojstva ljepilu. U tablici 4. je prikazana početna formulacija EVA hot-melt ljepila za uvez knjiga [21]

Tablica 4.: Početna formulacija EVA hot-melt ljepila [21]

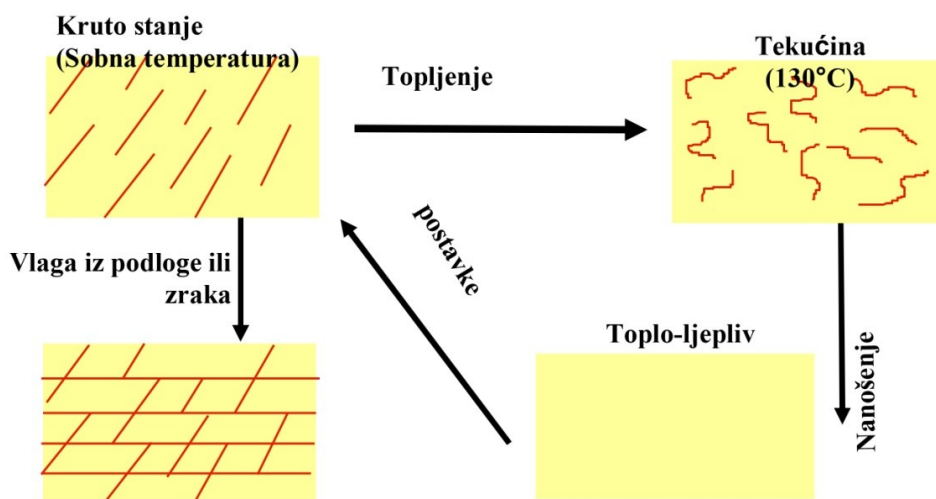
Početna formulacija EVA hot-melt ljepila	
EVA kopolimer	30-40%
Ljepljiva smola	30-40%
Sintetički vosak	20-30%
Plastifikatori	0-20%
Punila	0-20%
Antioksidansi	1%

EVA ljepila su univerzalna dovoljno da se koriste na premaznim i nepremazanim papirima. Daju jaka ljepljiva svojstva u većini uvjeta, prijanjaju brzo, relativno su jeftina, a dostupna su u različitim formulacijama za upotrebu izvan mekog uveza. Nakon nanošenja, većina EVA ljepila čvrsto povezuje stranice. Moderne EVA formulacije podliježu manjem kemijskom raščlanjivanju prilikom starenja, ali imaju tendenciju da se ukrute kad se ohlade. Rezultat ove pojave je taj da EVA ljepilo podliježe nastajanju pukotina prilikom pohranjivanja knjiga u hladna skladišta, iako je kod novijih formulacija povećana fleksibilnost. Problematično je korištenje hot-melt ljepila na premazanim papirima ili papirima velike gramature. Hot-melt ljepila također može biti teško primijeniti bez prljanja glave za nanos ljepila. Budući da hot-melt jedinice imaju radne temperature i više od 300°C, popravlanje problema u radnim uvjetima je teško. Hot-melt onečišćenje obično zahtijeva sustav ispiranja kojim se skupo ljepilo baca. Jedan od načina da se smanji bacanje hot-melt ljepila je očistiti onečišćenu glavu vrućim biljnim uljem.

Hot-melt ljepila su kruta i neelastična. Ova ljepila su pogodna za projekte koji nemaju teške stranice koje će padati daleko od linije veza nakon dugotrajnog korištenja. Stolni kalendari i blokovi se lijepe ovim ljepilom, koje omogućuje da listovi budu lako otkinuti. [21]

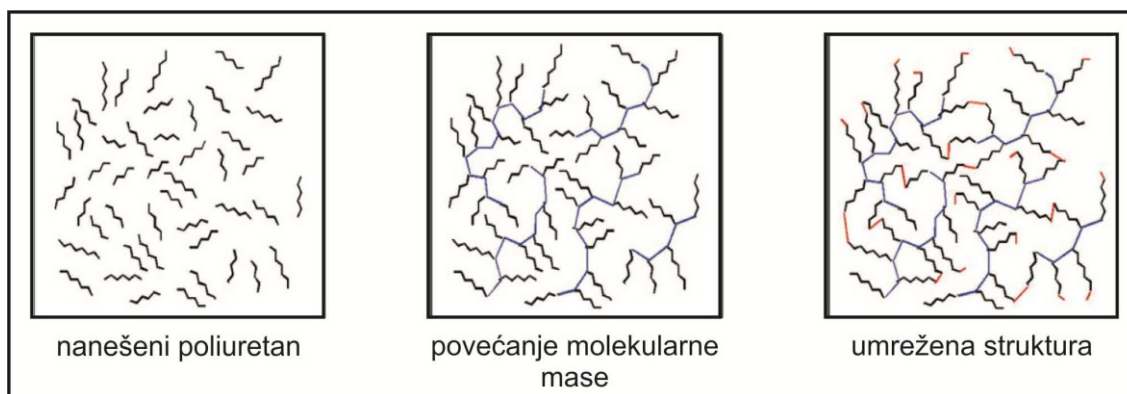
### 2.3.4 Poliuretanska ljepljiva (PUR)

Ljepljiva s reaktivnim poliuretanom relativno su nova u knjigovodstvu. Izvorno su osmišljena za drvenu i auto industriju osamdesetih godina prošlog stoljeća. Taljiva ljepljiva od predpolimera imaju nižu točku taljenja od konvencionalnih ljepljiva i jedni su od najjačih adheziva. Proizvode se od krutih poliola i izocijanata i imaju mali broj slobodnih izocijanatnih skupina.



Slika 6: Proces nanošenja i otvrdnjavanja PUR ljepljiva [22]

PUR taljiva ljepljiva nanose se slično konvencionalnim ljepljivima, ali pri nižim temperaturama od 120-150 °C. Nakon nanošenja ljepljivo se ne stvrdnjava velikom brzinom kao EVA, knjiga se može rezati na trorezaču nakon 3 minute, ali se ne smije otvarati do kraja minimalno 12 sati nakon nanošenja ljepljiva.



Slika 7: Reakcioni mehanizam PUR ljepljiva [22]

Kako bi se ubrzao proces sušenja, odnosno očvršćavanja, ljepljivu se dodaju organometalni katalizatori koji služe kao ubrzivači procesa. PUR svoju maksimalnu čvrstoću, odnosno završetak procesa stvrdnjavanja postiže nakon 24 sata. Sam proces stvrdnjavanja događa se između poliuretana, vlage iz okoliša i korištenog materijala, čime PUR drastično povećava



svoju molekularnu masu. Jednom kada završi proces očvršćavanja ljepilo postaje otporno na visoke temperature (+130 °C), niske temperature (-40 °C), razna ulja, vodu i otapala.

Obrada hrpta prije nanošenja ljepila uključuje izradu utora mikro noža koji mora biti visok 0.2 mm iznad o 0.4 mm ispod s preporučeni razmak između utora je 1 mm. Manji razmak može napraviti suprotni učinak jer se pojavom perforacije može i oslabiti hrpat. Debljina nanosa ljepila se kreće od 0,3 mm do 0,6 mm ovisno o debljini hrpta.



Slika 8: Uređaji za nanošenje PUR ljepila [22]

Za nanošenje PUR ljepila mogu se koristiti konvencionalne metode nanosa valjcima kao kod EVA ljepila, s tim da količina otopljenog ljepila u spremniku mora biti potrošena. Nakon završetka posla spremnik je potrebno isprazniti pošto ljepilo dolazi u dodir sa zrakom i vlagom iz prostora, nakon čega bi se stvrdnulo tijekom hlađenja spremnika. Postoje i sustavi nanošenja PUR ljepila s brizganjem putem dizna. Oprema za takav način nanošenja ljepila je dosta skuplja. Ljepilo se nalazi u spremniku gdje se zagrijava samo gornji sloj. Pumpa je uronjena u otopljeni dio ljepila i šalje otopljeno ljepilo kroz grijana crijeva do dizne za nanošenje. Nakon završetka radnog nalog ili radnog dana otvor dizne se zatvara šću kako ne bi ljepilo duže vrijeme (48 sati max) bilo izloženo vanjskim utjecajima. Ukoliko se stroj odnosno ljepilo neće koristiti na dulje vrijeme potrebno je cijeli sustav isprazniti i u njega ubrizgati tekućinu za čišćenje.

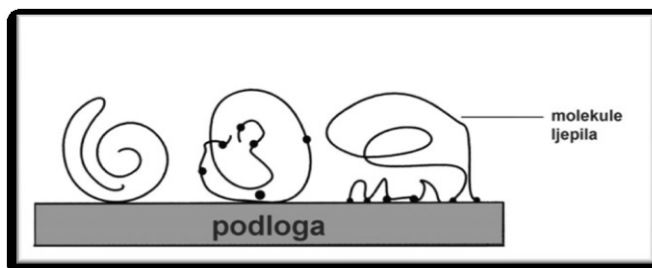
Usporedba karakteristika triju navedenih vrsta ljepila koja se koriste kod bešavnog uveza prikazana je u Tablici 5.

Tablica 5. Karakteristike ljepila za bešavni uvez [23]

PVAc ljepila	EVA ljepila	PUR ljepila
jaka ljepljena veza	jaka ljepljena veza	vrlo jaka ljepljena veza
elastičan film ljepila	neelastičan film ljepila	vrlo elastičan film ljepila
otporna na starenje	nisu otporna na starenje	otporna na starenje
zahtjeva sušenje	zahtjeva hlađenje	zahtjeva hlađenje
debljina nanosa 0.2-0.3 mm	debljina nanosa 0.5-0.7 mm	debljina nanosa 0.3-0.5 mm
radna temp. 18°C – 25°C	radna temp. 160°C – 180°C	radna temp. 120°C – 130°C
potpuno sušenje nakon 48h	potpuno sušenje nakon 24h	potpuno sušenje nakon 48h
jednostavna jedinica za nanošenje ljepila	zagrijana jedinica sa istopljenim ljepilom	specijalna jedinica za nanošenje ljepila
pogodno za KB od nepremazanih i premazanih papira	pogodno za KB od nepremazanih papira	pogodno i za proizvode od problematičnih papira

### 2.3.5 Čvrstoća hrpta knjižnog bloka tretiranog taljivim ljepilom

Termin čvrstoće knjižnog bloka podrazumijeva mehanički postupak određivanja čvrstoće slijepljenog spoja. Metodom adhezijskog spajanja nastaje slijepljeni spoj (eng. *adhesive joint*) kao rezultat vezanja površine papira s ljepilom. Dakle, slijepljeni spoj nastaje spajanjem površine dvaju supstrata (eng. *adherend*) pomoću ljepila (Sl. 9.). [24]



Slika 9: Opći prikaz procesa lijepljenja [13]

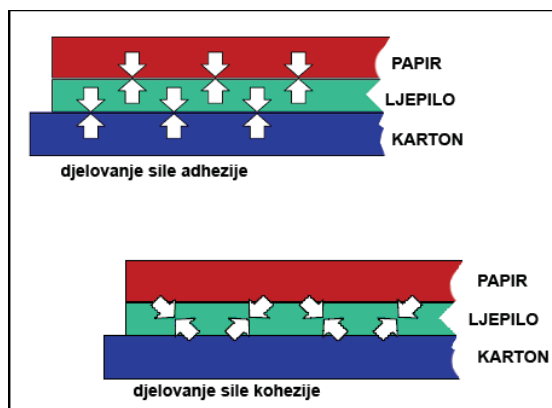
Adhezijska privlačna sila povezuje veći broj listova papira u jednu cjelinu (knjižni blok) samo ako su međusobno u kontaktu preko ljepila.[25] Ljepilo povezuje supstrate u jednu cjelinu i sprječava njihovo međusobno razdvajanje. Stanje adhezije ovisi o intenzitetu površinske povezanosti papira i ljepila na njihovim međupovršinama. Jakost mehaničkog usidrenja termoplastičnog odnosno taljivog (*hot melt*) ljepila na hrapavoj površini papira određuje površina fizičkog kontakta.[26] Između supstrata i ljepila dolazi do učinka po načelu „ključ i brava“ [27], odnosno do mehaničkog usidrenja ljepila u pukotine papira (Sl. 10.). Nakon mehaničke obrade hrpta knjižnog bloka, karakteristike nepravilne površine supstrata (pojedinačni list papira) izravni su pokazatelj jakosti mehaničkog vezivanja ljepila odnosno jakosti čvrstoće slijepljenog spoja (eng. *adhesive joint strength*).



Slika 10: Model mehaničke teorije „ključ i brava“ [27]

Porastu čvrstoće slijepljenog spoja pridonosi veća nepravilnost površine supstrata i veća kompatibilnost veličine čestice ljepila i međuprostora na površini supstrata. Četkanjem i usisavanjem papirnate prašine iz pukotina papira postiže se povećanje hrapavosti površine supstrata, što je rezultat povećanja dodirne površine s talinom. Jakost vlačne sile naprezanja je u stvari pokazatelj čvrstoće slijepljenog spoja. Na mjestu linije uvezivanja pod

utjecajem djelovanja vanjske sile opterećenja dolazi do popuštanja adhezijske veze. To je na međupovršini papira i sloja ljepila, a ne nikako u masi papira ili masi ljepila (kohezijska veza). [28]



Slika 11. Model djelovanja adhezijske i kohezijske sile [28]

Kvaliteta uveza lijepljenje knjige može se procijeniti kvantitativnom i vizualnom metodom. Kvantitativna metoda sastoji se u mjerenju vlačne sile kidanja lista papira pomoću kidalice. Pokazatelj kvalitete uveza je čvrstoća slijepljenog spoja na mjestu linije uvezivanja. Rezultat srednje vrijednosti čvrstoće slijepljenog spoja pojedinačnog lista papira uspoređuje se s vrijednostima čvrstoće koju propisuje FOGRA vrijednosna ocjena za čvrstoću knjižnog bloka. [29]

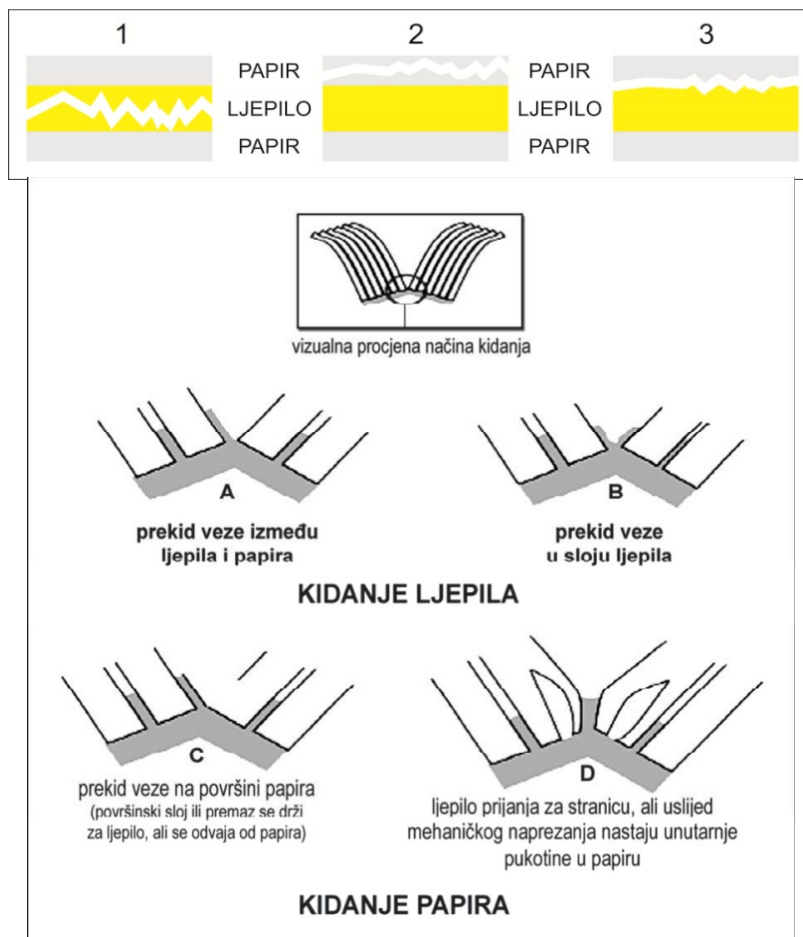
Tablica 6.: Vrijednosti preporučenih ocjena za kvalitetu uveza lijepljene knjige prema FOGRA vrijednosnoj ocjeni za čvrstoću knjižnog bloka [29]

Očekivane vrijednosti sile kidanja	Atributivne vrijednosti ocjena
Ispod 5,5 N/cm	Loše uvezivanje
5,6 N/cm do 6,5 N/cm	Granično uvezivanje
6,6 N/cm do 7,5 N/cm	Dobro uvezivanje
Iznad 7,5 N/cm	Vrlo dobro uvezivanje

Osim kvantitativnih mjerenja radi se i vizualna procjena načina kidanja lista papira na mjestu linije uvezivanja u svrhu evaluacije kvalitete uveza. Nakon sušenja, provodi se raskidanje na mjestu sljepljivanja.

Prekid može biti:

1. Pucanje u sloju ljepila što znači da su popustile sile kohezije unutar ljepila.
2. Pucanje papira što znači da su popustile sile kohezije unutar papira
3. Pucanje na granici papir – ljepilo što znači da su slabe sile adhezije.



Slika 12. Popuštanje adhezijskih spojeva [30]

Mehanička čvrstoća knjižnog bloka prema dosadašnjim iskustvima ovisi o odnosu ljepila i papira. Stoga se kvaliteta meko uvezane knjige mora promatrati i sa fizikalno-kemijskog aspekta. Kvaliteta veze između knjižnog bloka i korica ovisi o djelovanju sila kohezije unutar jedne tvari i sila adhezije između dvije različite tvari. S fizikalnog aspekta to je mehanizam lijepljenja koji se temelji na pojavama penetracije i fizikalne adsorpcije neposrednim djelovanja van der Waals sila u međudjelovanju hot melta i obrađenog hrpta knjižnog bloka.

## 2.4 Bešavni uvez

Jedan od načina za izradu knjiga za višekratnu uporabu koji spada u meki uvez je i forma bešavnog uveza. Ova vrsta uvez je ujedno jeftina i jednostavna. Za izvedbu se koriste strojevi velikog i malog kapaciteta. Uvezna jedinica može biti knjižni slog ili list papira. Uvezna jedinica knjižni slog je obično kod produkcijske proizvodnje gdje se radi o velikim nakladama, a uvezna jedinica list papira je obično vezana za digitalni tisak i nisku produkciju. Kod strojne izrade bešavnog uvez knjižni blok, bilo da je uvezna jedinica KS ili LP nužno je ohrapaviti u hrptu kako bi ljepilo koje se nanosi ostvarilo kvalitetniju vezu između KB i JKK. Bešavni uvez je pogodan za sve vrste papira. Za strojnu izradu se koriste dvije vrste topivih ljepila EVA i PUR. Za knjige izrađene od nepremazanih papira, volumenoznih i recikliranih preporuča se korištenje EVA ljepila koje sa ovim papiri zadovoljavaju standard FOGRA za meko uvezanu knjigu, dok sa premazanim papirima ovo ljepilo daje nešto lošije rezultate. Za premazane papire preporuča se korištenje PUR ljepila koje daje zadovoljavajuće rezultate kod bešavne forme uveza. Ova vrsta ljepila se ranije koristila isključivo na strojevima velikoga kapaciteta, dok danas kako bi se prilagodili potrebama tržišta postoje i strojevi za bešavni uvez s PUR ljepilom predviđeni za brzu prilagodbu i izradu manjih naklada, što je bio odgovor na zahtjeve digitalnog tiska.

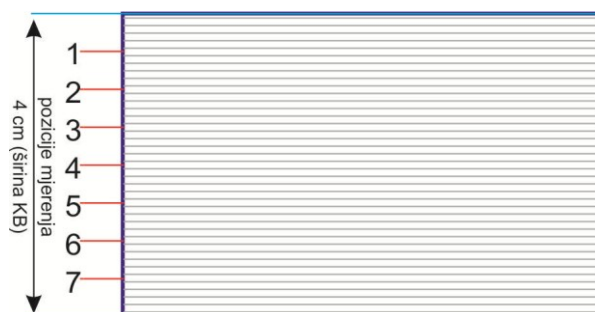
### 3 EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1 PLAN RADA I METODE ISTRAŽIVANJA

Za potrebe ovog rada napravljeno je 50 knjga formata 16x24 cm. Knjižni blok ovih knjiga rađen je od premazanog papira različitih gramatura. Korišteno je pet gramatura papira i od svake je napravljeno po deset knjiga koje imaju debljinu hrbta 4 cm.

1. Knjiga napravljena od papira Garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>, opsega 74 KS od 16 strana ili 1184 stranice. Papir za koricu je Symbol card 240 g/m<sup>2</sup>.
2. Knjiga napravljena od papira Garda gloss 115 g/m<sup>2</sup>, opsega 57 KS od 16 strana ili 912 stranica. Papir za koricu je Symbol card 240 g/m<sup>2</sup>.
3. Knjiga napravljena od papira Garda gloss 135 g/m<sup>2</sup>, opsega 50 KS od 16 strana ili 800 stranica. Papir za koricu je Symbol card 240 g/m<sup>2</sup>.
4. Knjiga napravljena od papira Garda gloss 150 g/m<sup>2</sup>, opsega 46 KS od 16 strana ili 736 stranica. Papir za koricu je Symbol card 240 g/m<sup>2</sup>.
5. Knjiga napravljena od papira Garda gloss 170 g/m<sup>2</sup>, opsega 40 KS od 16 strana ili 640 stranica. Papir za koricu je Symbol card 240 g/m<sup>2</sup>.

Knjižni slogovi za sve knjige su dobiveni iz formata papira B1 (700x1000 mm) dugi tok vlakana, KS nisu tiskani, savijenu su u KS od 16 strana, sabrani slog na slog. Jednodjelne kartonske korice su tiskane digitalnim tiskom na uređaju Konica Minolta 1085. Knjige su uvezane na stroju za meki uvez Horizon BQ-470 s PUR ljepilom. Obrezane su na trorezaču.



Slika 13. Pozicije mjerenja na knjižnom bloku

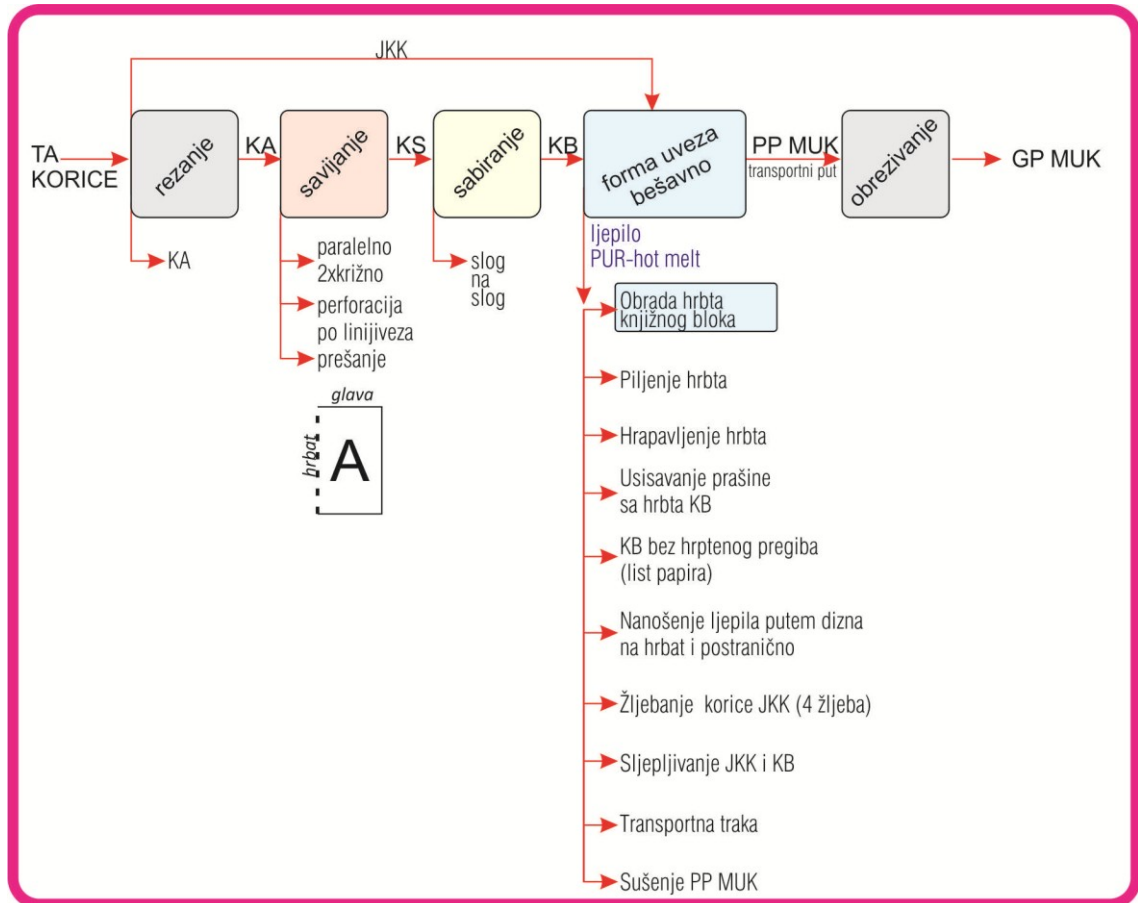
Na knjigama je zatim provedeno vrednovanje čvrstoće slijepljenoga spoja na svakoj knjizi u 7 točaka mjerenja. Mjerenje je izvršeno pomoću uređaja IDM Page Pull Tester P0011, a rezultati su uneseni u Excel tablicu i uspoređeni s FOGRA standardom.

Konstruirana je sprava za mjerenje *drape faktora*, odnosno krutosti papira prema Jermanovoj metodi. Od papira koji je korišten u knjigama rezani su listovi papira koji odgovaraju formatu otvorene knjige 32x24 cm za kratki tok papira i na njima je provedeno izračunavanje *drape faktora*, kako bi se odredila kvaliteta otvaranja knjige s obzirom na gramaturu papira. Dobiveni rezultati uneseni su Excel tablice iz kojih su napravljeni dijagrami. Pored ovih mjerenja, napravljeno je mjerenje *drap faktora* za format knjižnog bloka 14,8x21 cm i 31x31 cm, od navedenih pet vrsta papira kako bismo napravili promatranje ponašanja hrbta knjižnog bloka ovisno o formatu i krutosti papira .



### 3.2 Proces proizvodnje mekog uveza knjige sa PUR ljepilom

Za potrebu ovoga rada na stroju za meki uvez Horizon BQ-470 s Nordson sustavom za nanošenje PUR ljepila izrađene su knjige formata 16 cm x 24 cm, debljine hrpta 4 cm s jednodijelnim kartonskim koricama, a knjižni blok je rađen od premazanog papira. Proces izrade je prikazan na dijagramu toka na slici 14.



Slika 14: Dijagram toka proizvodnje mekog uveza knjige

1. Nakon tiska, tiskovni arak se prilagođava stroju za savijanje KA. U ovom slučaju potrebno je tiskovni arak rezati na pola. Također u prvoj fazi na brzorezaču se jednodijelna kartonska korica svodi na dimenziju pogodnu za daljnju obradu u stroju za ljepljenja knjižnog bloka i korice.
2. Knjižni arak se u stroju za savijanje savija jedan put paralelno i dva puta križno, pri čemu se nakon paralelnog savijanja radi perforacija po sredini arka po budućoj liniji veza. Perforacija se radi kako bi KS bio pogodniji za prešanje, lakše izlazi nepotrebni

zrak iz sredine savijenog KS. Na izlazu iz stroja za savijanje KS prolazi između valjaka za prešanje.

3. Savijeni knjižni slogovi se sabiru metodom slog na slog kako bi dobili knjižni blok s potrebnim brojem KS koji će na kraju s JKK sačinjavati knjigu.

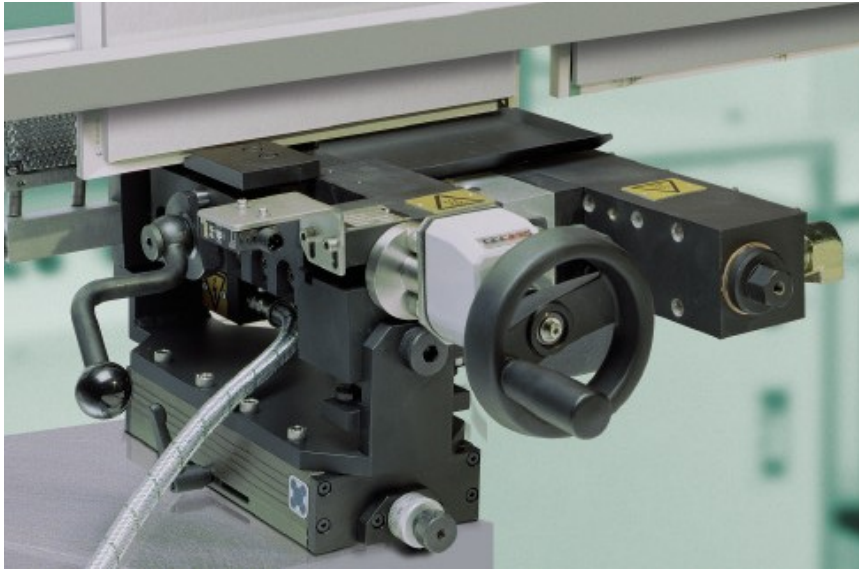


*Slika 15: Prikaz uređaja za transport knjižnog blok, uređaja za piljenje i hrapavljenje hrbta sa četkama i usisavačem, dizna za nanošenje ljepila na hrbat*

4. Sabrani KB ručno se stavljaju u klješta uređaja za ljepljenje. Ovaj uređaj posjeduje četvora klješta za transport koja omogućavaju kontinuirani rad. U konkretnom slučaju zbog velikog broja KS u KB dolazi do lepezastog otvaranja KS u dnu KB što usporava proces proizvodnje i porebno ih je pažljivo poravnati pri ubacivanju u stroj, pa operater nije u mogućnosti raditi maksimalnom brzinom. Sljedeća faza je piljenje hrbta KB cirkularnim nožem, KB se kreće naprijed i cijelom duljinom cirkular odstranjuje hrbat u visini od 3 mm, a na cirkularu se još nalaze dva vertikalna noža koji rade utore za povećanje površine ljepljenja čija je preporučana dubina za PUR ljepilo od 0,2 mm do 0,4 mm. U uređaju za piljenje se nalaze četke koje odstranjuju prašinu s hrpta KB, a pored četki u samom uređaju je postavljen usisavač koji odvodi prašinu u vreću za otpad. Ukoliko su noževi tupi ili brzina okretanja cirkulara nije usklađena s brzinom transporta KB može doći do nepravilnosti koje će prouzrokovati višak prašine na hrptu usljed čega će prijanjanje ljepila biti loše.

5. Nakon piljenje hrpta KB, on je sastavljen od listova papira na koje se nanosi PUR ljepilo putem dizna. Preporučeni nanos ljepila za PUR je od 0,3 mm do 0,6 mm ovisno o debljini hrpta. Količina ljepila na hrptu KB se definira pomoću temperature i tlaka u uređaju za nanošenje ljepila, moguće je također podesiti i visinu dizne u odnosu na KB. U istom periodu se stranično ljepilo nanosi diznama, ono je EVA ljepilo koje ima kratko

vrijeme sušenja za razliku od PUR ljepila. Oba ljepila u stroj dolaze iz različitih uređaja putem grijanih crijeva.



*Slika 16: Prikaz uređaja za nanošenje PUR ljepila (uređaj je izdvojen iz stroja)*

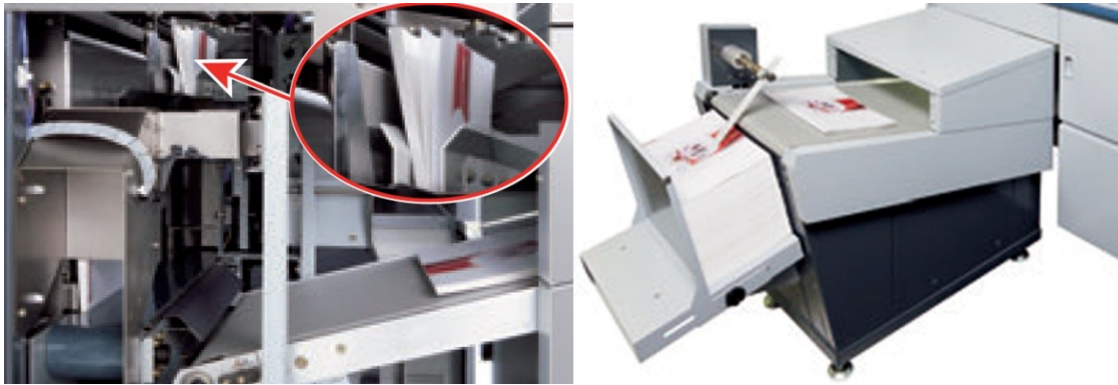
6. Otisnute korice obrezane na dimenziju koja je u odnosu na duljinu hrpta dulja za 4 mm. Knjižni blok se umeće u sredinu JKK tako da je korica dulja od njega po 2 mm u glavi i nogama radi viška ljepila. Korice se postavljaju u ulagači dio stroja za izradu bešavnoga uveza. Stroj pomoću zračnih hvataljki uzima po jednu koricu, te ih dovodi do valjaka za žljebanje korice. Korice dobivaju četiri žljeba, prva dva žljeba su u razmaku od 5 mm drugi i treći žljeb su razmaknuti za širinu hrpta što je u konkretnom slučaju iznosilo 4 cm, a razmak između trećeg i četvrtog žljeba su također je 5 mm, prvi i zadnji žljeb ostvaruju lakše otvaranje knjige.



*Slika 17: Uređaja za žljebanje korice, i stol sa klišetima za sastavljanje JKK i KB*

7. Nakon žljebanja lijepe se korice za knjižni blok. Korica dolazi na stol na kojem se nalaze klješta otvorena točno koliko treba kako bi u njih ušle korice i knjižni blok. S donje strane stol klještima podiže i nosi sa sobom korice, te sljepljuje KB na koji je u prethodnom koraku oslojen ljepilom.

8. Nakon sastavljanja neobrezana knjiga transportira se u klještima do transportne trake. Klješta ispuštaju knjigu na transportnu traku, a knjiga se transportira do izlagaćeg uređaja. U ovoj fazi postoji mogućnost deformacije hrpta knjižnog bloka, ukoliko se radi o knjizi velikog opsega. Uzrok je sporo sušenje PUR ljepila. Za posljednicu imamo smanjenu brzinu rada na stroju, kako bi produljili vrijeme od nanošenja ljepila do izlaska knjige iz stroja.



*Slika 18: Transport knjige do izlazne jedinice*

9. U ovom slučaju knjige se pažljivo izlažu, te se ostavljaju na paletu i transportiraju do trorezača gdje se knjiga obrezuje na gotovi format. Proizvođač ljepila preporuča obrezivanje minimalno 3 minute nakon uvezivanja. Kada bi se ovaj stroj nalazio u linijskoj proizvodnji, morali bi imati transportnu traku toliko dugu da se knjiga na njoj zadrži minimalno tri minute.

### 3.3 Korišteni strojevi i uređaji

#### 3.3.1 Brzorezač Eurocuter 1160



*Slika 19. Brzorezač Eurocuter 1160*

Širina rezanja: 1160 mm

Maksimalna visina kupa papira: 170 mm

Pogonski sustav: Dvostruka vučna ruka

Broj rezova: (max) 48 / min

Varijabilni pritisak preše: 1,5 - 45 kN

Minimalna dubina rezanja bez poklopca preše: 25 mm

Minimalna dubina rezanja s poklopcem preše: 90 mm

Potrošnja električne energije: 5,9 kW

Snaga: 3 faze, 400 V, 50 Hz

Neto težina: 4050 kg

Značajke stroja:

- osvijetljena linija rezanja i rasvjeta radnog područja
- samostalni stol sa zračnim jastukom
- programabilna kontrola zraka
- kromirana stolna površina
- lažna ploča za stezanje
- infra crvena svjetlosna zraka

- pogon stražnjeg stražnjeg stola, eliminirajući utor straga
- beskonačno promjenjiv tlak stezanja
- središnji sustav podmazivanja
- zaslon u boji 10,4 "
- Računalo s Windows operativnim sustavom i specijaliziranom aplikacijom Papercut
- neograničen broj rezanih programa, pri čemu svaki program može definirati 999 rezova
- program za umetanje i brisanje oznaka rezanja

### 3.3.2 Stroj za savijanje tiskovnih araka GUK 72/4 KTL



*Slika 20. Stroj za savijanje tiskovnih araka GUK 72/4 KTL*

Stroj za savijanje araka ima opciju savijanja četiri puta paralelno i dva puta križno. Maksimalni format papira je 1020x720 mm. Minimalni format papira je 148x210 mm.

Maksimalna brzina stroja je 18000 ciklusa/sat. Na kraju stroja nalazi se preša koja pomoću dva kromirana valjka preša KS.

### 3.3.3 Stroj za ljepljenje KB za JKK (*perfect binder*) Horizon BQ-470 PUR

Horizon BQ-470 PUR se sastoji iz dva dijela, uređaj za sastavljanje KB i JKK i uređaja za PUR ljepljenje Nordson. Zasebni uređaji za nanošenje ljepila na hrbat i postranično ljepljenje.

Horizon BQ-470 je stroj s 4-klješta, automatskim dovođenjem JKK koji daje savršeno vezivanje knjige uz pomoć jednog operatera. Touch-work-tehnologija, koju je Horizon razvio, je nova generacija upravljačkoga sustava pomoću koje operater u samo nekoliko minuta podesi stroj za novi nalog.



*Slika 21: Horizon BQ-470 PUR*

### **Tehnički podaci BQ-470 PUR**

Formati:

duljina: min. 145mm

max. 320mm

visina: min. 105mm

max. 320mm

hrbat: min. 1mm

max. 65mm

Format omota: min. 225 x 135mm

max. 660 x 320mm

Težina omota: min. 80 g/m<sup>2</sup>

max. 350 g/m<sup>2</sup>

Brzina : max. 1.000 taktova /h kod PUR

Priključak struje: 400V 50 Hz, 6,5 kW

Težina: 2.100 kg

### 3.3.4 Trorezač Hydromat



*Slika 22: Trorezač*

Ovaj stroj se koristi za obrezivanje knjige s tri strane. Maksimalni format za obrezivanje je 500x350 mm, a minimalni format je 120x80 mm. Stroj može raditi u ručnom ili u automatskom modu. Posjeduje mogućnost rezanja s jednim ili dva noža. Maksimalna brzina 800 ciklusa na sat.

### 3.3.5 Mjerni uređaj IDM Page Pull Tester Model: P0011

Mjerenje sile kidanja pojedinačnog lista iz knjižnog bloka obavljeno je na uređaju IDM Page Pull Tester Model: P0011.



*Slika 23. IDM Page Pull Tester*

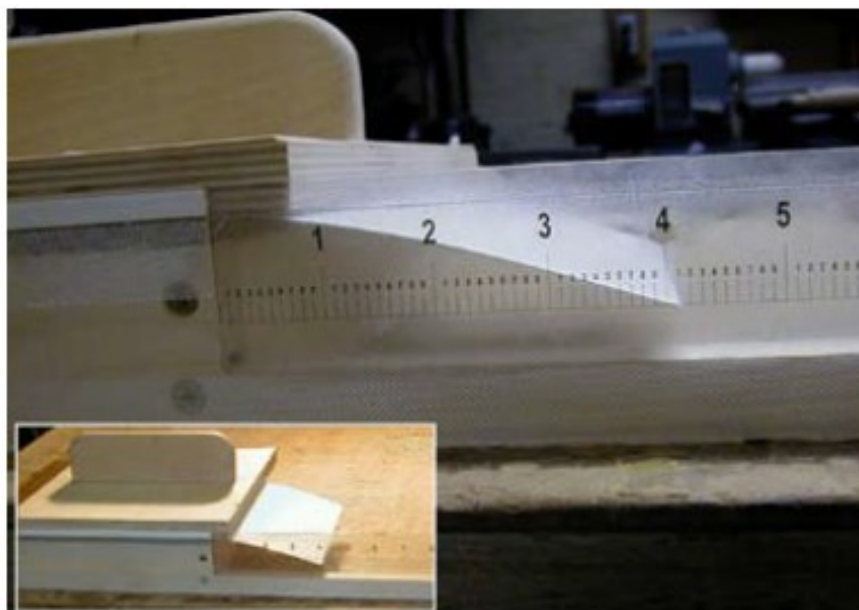


To je standardizirani uređaj na kojem se mjeri vlačna sila kidanja lista papira ( $F/N$ ), a čvrstoća slijepljenog spoja  $F_z$  ( $N/cm$ ) izračunava se tako da se sila kidanja ( $F$ ) podijeli s visinom knjižnog bloka ( $cm$ ). Izvođenje pull-testa zahtjeva više uzastopnih mjerenja i na osnovu pojedinačnih mjerenja dobiva se srednja vrijednost sile potrebne za izvlačenje pojedinih listova papira iz filma ljepila na hrptu knjižnog bloka. Pored broja izvedenih uzastopnih mjerenja iz jednog knjižnog bloka, na rezultat analize može utjecati i položaj ispitanih listova unutar knjižnog bloka. Mjerenja se provode sa točno definiranih pozicija u KB. Instrument registrira vlačnu silu naprezanja potrebnu da se istragne list papira iz ljepljenog spoja na hrptu knjižnog bloka

### 3.3.6 Sprava za mjerenje krutosti papira *Drap faktor*

Sprava za mjerenje drepabilnosti papira opisan je u poglavlju 2.2.5. Pete Jermann je konstruirao jednostavnu spravu koja mjeri ono na što se referiramo kao "drape faktor".

Ovo mjerenje ovisno je o promatraču. Nije standardizirano i izvodi se u svrhu promatranja krutosti papira. Kako bi se utvrdila mogućnost korištenja određene vrste papira za izradu knjige koja će biti pogodna za čitanje odnosno *user friendly*. U ovome istraživanju krutost papira je mjerana kako bi se mogao promatrati njezin utjecaj na čvrstoću uveza.



Slika 24. Uređaj Pete Jermanna za mjerenja *Drap faktor*

### 3.3.7 Korišteni materijali

#### *Garda gloss*

Papir Garda gloss je visoko kvalitetni obostrano premazani papir visokog sjaja (primarno celulozno vlakno, masno mljevenje). Osim što sadržava premaze, srednji sloj je građen od bijeljene celuloze. Omogućava dobra tiskovna svojstva te jamči optimalnu reprodukciju. Koristi se za umjetnički tisak. Za proizvodnju knjiga mekog uveza s ohrapavljenim hrptom ovi papiri su dosta zahtjevni jer se pri piljenju hrpta stvara velika količina prašine koja u konačnici umanjuje adhezivne sile kod spajanja KB i JKK.

*Tablica 7. Tehnička specifikacija Garda gloss*

Svojstvo	Metoda ispitivanja	Jedinica	Tolerancija	90	115	135	150	170
Gramatura	ISO 536 TAPPI T410	g/m <sup>2</sup>	±4%	90	115	135	150	170
Debljina	ISO 534 TAPPI T411	µm	±4%	69	89	100	110	125
Obujam	ISO 534 TAPPI T411	cm <sup>3</sup> /g	-	0,76	0,75	0,74	0,73	0,74
Prozirnost	ISO 2471 TAPPI T519	%	-2	90	93	95,5	96,5	97
Bjelina D65/10°	ISO 11457	CIE	±3	119,0	119,0	119,0	119,0	119,0
Sjaj papira	ISO 8254-1 TAPPI T480	%	±5	70	72	73	73	74
Glatkoća	ISO 5627 TAPPI T479	s	±30%	1600	1300	1000	1000	850

#### *Symbol card*

Symbol card je ekološki prihvatljiv papir, odobren od ECF-a. Dvoslojno je premazan s jedne strane koja ima intenzivnu bjelinu. Pogodan je za offsetni tisak, visoki tisak, termografiju, slijepi tisak i sitotisak. Koristi se za izradu korica za knjige i brošure, omota za CD, kutije itd. Pogodan je za ljepljenje, lakiranje i plastificiranje. Premazana strana daje izvanredne rezultate u tisku, ponaša se slično papirima za umjetnički tisak.

Tablica 8. Tehnička specifikacija Symbol card

Gramatura	240 g/m <sup>2</sup>
Debljina	285 µm ±10%
Hrapavost	300 ml/min ±20%

*Termalno ljepilo - TECHNOMELT PUR 3317 BR*

TECHNOMELT PUR 3317 BR pripada skupini termalnih ljepila reaktivni polimer namjenjen grafičkoj industriji, služi kao ljepilo koje se nanosi na hrbat knjige pomoću valjaka ili dizna. Ima odlična adhezijska svojstva, koristi se za uvezivanje svih vrsta papira, a izvanredne rezultate postiže i kod uvezivanja premazanih i sintetičkih papira.

Ovisno o vanjskim uvjetima i količini vlage u papiru, debljini nanosa ljepila, propusnosti materijala i skladištenju, 50 do 80 % potpune čvrstoće ljepljenja postiže nakon 12 do 24 sata od apliciranja. Međutim, proizvod može biti dalje obrađivan nakon fizičkog stvrdnjavanja, što traje oko 3 minute.

Preporučeni nanos ljepila na hrbat knjige kreće se od 0,3 mm do 0,6 mm, ovisno o debljini KB. Temperature koje su preporučene od proizvođača ljepila u pripremi, odnosno temperatura pumpe koja se nalazi u spremniku ljepila, je od 80 do 90 °C, temperatura u crijevima za transport ljepila je od 110 do 120 °C. Ukoliko se aplicira putem valjaka temperatura spremnika je 130 °C, a temperatura u dizni ako, se aplicira preko njih je 150 °C. [33]

## 4 REZULTATI I ISPITIVANJA

### 4.1 Rezultati čvrstoće KB

U tablicama su prikazani rezultati ispitivanja, prikazuju potrebne sile za kidanje točno definiranih listova iz pojedinačnih knjižnih blokova ovisno o gramaturi papira.

Rezultati sila (F) dobivenih mjerenjem na kidalici dijele se s dužinom hrpta, tj. visinom obrezanog knjižnog bloka (h), kako bismo ih prilagodili standardnoj mjernoj jedinici za čvrstoću knjižnog bloka (N/cm) i dobivene vrijednosti se unose u tablice i koriste za analizu. Izračnava se prema formuli  $F_z = F / h$  [N/cm]

Tablica 9. Sistematizacija rezultata knjižnih blokova izrađenih od Garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>

BROJ UZORKA - (vlačna sila po visini - N/cm)												
LP	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	aritm.	$\sigma$
1	9,438	9,354	9,458	8,542	9,313	9,417	9,583	9,292	9,563	9,813	9,377	0,314
2	8,125	9,563	9,333	8,958	7,729	8,333	9,750	9,042	7,458	8,542	8,683	0,735
3	6,750	9,271	8,917	9,583	8,146	8,313	9,104	8,792	8,167	9,083	8,613	0,771
4	6,958	8,750	7,208	7,167	9,417	7,229	9,125	9,125	7,042	8,958	8,098	0,992
5	9,625	8,833	8,500	9,083	8,333	9,292	8,917	8,958	8,458	9,333	8,933	0,397
6	9,875	10,083	9,375	9,292	9,292	9,688	9,229	9,521	9,583	9,354	9,529	0,267
7	11,250	9,417	9,563	9,583	9,375	9,375	9,375	9,146	9,500	9,438	9,602	0,561
aritm.	8,860	9,324	8,908	8,887	8,801	8,807	9,298	9,125	8,539	9,217	8,9765	
$\sigma$	1,627	0,450	0,799	0,828	0,671	0,840	0,263	0,223	0,948	0,306	0,2412	

Tablica 10. Sistematizacija rezultata knjižnih blokova izrađenih od Garda gloss 115 g/m<sup>2</sup>

BROJ UZORKA - (vlačna sila po visini - N/cm)												
LP	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	aritm.	$\sigma$
1	9,833	9,688	9,583	9,604	9,771	9,688	8,625	7,917	9,833	9,625	9,417	0,600
2	8,458	6,958	9,188	9,625	9,458	9,563	8,167	7,375	9,792	9,458	8,804	0,959
3	7,792	9,417	9,479	9,708	9,083	9,458	9,792	9,583	9,500	8,063	9,188	0,658
4	8,042	9,833	8,750	9,000	9,167	9,792	9,271	9,729	9,792	9,563	9,294	0,549
5	9,167	8,625	9,000	9,813	9,479	9,458	7,583	9,542	9,833	9,458	9,196	0,639
6	9,833	9,667	9,021	9,542	9,458	9,625	9,083	9,563	9,229	9,458	9,448	0,248
7	9,729	9,500	9,479	9,458	9,375	9,542	9,625	9,708	9,333	9,292	9,504	0,142
aritm.	8,979	9,098	9,214	9,536	9,399	9,589	8,878	9,060	9,616	9,274	9,2643	
$\sigma$	0,792	0,989	0,264	0,260	0,155	0,114	0,792	0,842	0,239	0,522	0,2498	

Tablica 11. Sistematizacija rezultata knjižnih blokova izrađenih od Garda gloss 135 g/m<sup>2</sup>

BROJ UZORKA - (vlačna sila po visini - N/cm)												
LP	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	aritm.	$\sigma$
1	8,396	9,417	9,771	9,792	9,458	9,542	9,667	9,458	9,563	9,375	9,444	0,375
2	9,667	9,000	9,521	10,000	9,438	8,792	10,146	9,583	9,813	9,104	9,506	0,414
3	9,688	9,375	8,667	8,313	9,375	8,208	9,646	9,208	9,500	9,083	9,106	0,507
4	9,646	9,458	7,958	9,417	9,313	9,771	9,104	9,250	9,625	9,188	9,273	0,483
5	9,583	9,271	9,708	8,875	9,792	9,750	8,521	9,375	9,292	9,104	9,327	0,389
6	9,375	9,396	9,333	9,625	9,625	9,625	9,146	9,375	9,667	9,333	9,450	0,165
7	9,729	9,604	9,604	9,958	9,750	10,042	9,333	9,667	10,208	9,188	9,708	0,293
aritm.	9,440	9,360	9,223	9,426	9,536	9,390	9,366	9,417	9,667	9,196	9,4021	
$\sigma$	0,116	0,186	0,625	0,602	0,184	0,646	0,501	0,166	0,284	0,085	0,1295	

Tablica 12. Sistematizacija rezultata knjižnih blokova izrađenih od Garda gloss 150 g/m<sup>2</sup>

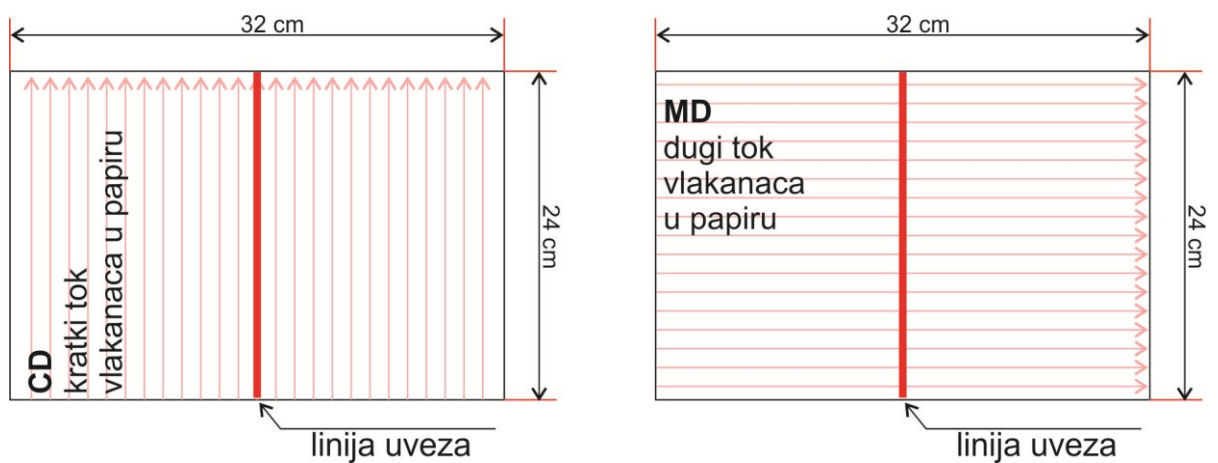
BROJ UZORKA - (vlačna sila po visini - N/cm)												
LP	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	aritm.	$\sigma$
1	10,000	8,083	9,354	9,729	9,250	8,104	8,542	7,958	8,583	9,313	8,892	0,694
2	9,542	8,354	8,354	9,583	8,354	7,646	8,083	9,146	9,167	8,875	8,710	0,615
3	9,375	8,833	8,833	9,625	9,292	9,521	6,958	8,604	9,417	8,833	8,929	0,736
4	9,417	7,417	8,167	9,542	9,417	7,167	7,604	9,229	9,375	7,813	8,515	0,916
5	8,917	9,042	7,167	8,708	9,354	7,813	7,604	9,333	9,417	8,896	8,625	0,763
6	9,646	9,125	9,458	9,271	9,229	8,375	9,000	9,458	8,708	8,500	9,077	0,406
7	9,583	9,167	9,042	8,938	9,354	7,875	9,792	9,354	9,708	8,958	9,177	0,520
aritm.	9,497	8,574	8,625	9,342	9,179	8,071	8,226	9,012	9,196	8,741	8,8464	
$\sigma$	0,241	0,618	0,734	0,347	0,368	0,741	0,952	0,279	0,308	0,401	0,4526	

Tablica 13. Sistematizacija rezultata knjižnih blokova izrađenih od Garda gloss 170 g/m<sup>2</sup>

BROJ UZORKA - (vlačna sila po visini - N/cm)												
LP	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	aritm.	$\sigma$
1	9,104	9,938	8,667	9,479	9,792	8,813	9,729	9,250	9,417	9,667	9,385	0,402
2	9,458	9,458	8,917	9,333	8,938	8,979	9,479	8,833	9,563	9,583	9,254	0,285
3	9,458	9,438	8,938	9,292	7,583	9,375	9,604	9,000	9,458	9,625	9,177	0,574
4	9,521	9,500	8,917	10,542	7,083	9,167	9,646	9,083	9,042	9,646	9,215	0,836
5	9,125	9,250	8,813	9,750	7,000	9,438	9,500	8,958	9,500	9,208	9,054	0,734
6	9,563	10,083	9,729	9,917	8,938	9,438	9,500	9,208	9,625	10,292	9,629	0,381
7	9,313	9,750	9,917	10,042	9,146	9,354	9,583	9,313	10,167	10,333	9,692	0,391
aritm.	9,363	9,631	9,128	9,765	8,354	9,223	9,577	9,092	9,539	9,765	9,3438	
$\sigma$	0,148	0,269	0,442	0,428	0,913	0,167	0,062	0,159	0,330	0,403	0,4042	

#### 4.2 Rezultati *drape faktor* - krutosti papira prema Jermanovoj metodi

Izračun „drape“ faktora je izveden prema formuli objašnjenjnoj u poglavlju 2.2.5. Mjerenje je provedeno na papiru formata 32x24 cm što je ekvivalent širini KB od 16 cm. Izračunat je *drape faktor* za dugi (CD) i kratki (MD) tok papira kao i za A i B stranu papira. Kratki tok papira u knjižnom bloku daje ispravno uvezanu knjigu tako da će on biti osnov promatranja. Mjerenja na dugom toku papira su rađena isključivo radi usporedbe. Pored ovoga napravljena su promatranja krutosti papira za formate papira koji odgovaraju širini KB od 14,8 cm i 32 cm. Za ova promatranja istakli smo samo konačne vrijednosti aritmetičke sredine drap faktora za kratki tok papira.



Slika 25. Promatranje toka vlaknaca u papiru kod mjerenja Drap faktora

Tablica 14 . Drap faktor za Garda gloss 90g/m<sup>2</sup> CD

LP	90 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	2-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD
	A	B
1	11,42	12,20
2	11,42	11,81
3	11,42	11,81
4	12,20	12,20
5	12,20	11,81
6	11,42	11,81
7	12,20	12,20
8	11,42	12,20
9	12,20	11,42
10	12,20	12,20
<b>aritm.</b>	<b>11,81</b>	<b>11,97</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>

Tablica 15 . Drap faktor za Garda gloss 90g/m<sup>2</sup> MD

LP	90 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	2-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm -MD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD
	A	B
1	13,78	12,99
2	13,78	13,39
3	13,78	13,39
4	13,78	13,39
5	13,39	13,78
6	13,78	13,39
7	13,39	13,39
8	13,39	13,39
9	12,99	13,78
10	12,20	13,78
<b>aritm.</b>	<b>13,43</b>	<b>13,46</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,48</b>	<b>0,24</b>



Tablica 16 . Drap faktor za Garda gloss115 g/m<sup>2</sup> CD

LP	115 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD
	A	B
1	13,39	13,78
2	13,78	13,78
3	13,78	13,78
4	13,78	13,39
5	14,17	13,78
6	14,17	13,78
7	13,78	14,17
8	14,17	14,17
9	13,78	14,17
10	14,17	13,78
<b>aritm.</b>	<b>13,90</b>	<b>13,86</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,25</b>	<b>0,24</b>

Tablica 17 . Drap faktor za Garda gloss115 g/m<sup>2</sup> MD

LP	115 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD
	A	B
1	15,75	17,32
2	16,14	17,32
3	16,14	17,72
4	16,54	17,32
5	15,75	17,72
6	16,14	16,93
7	15,75	17,32
8	16,14	16,54
9	15,75	17,32
10	16,54	16,54
<b>aritm.</b>	<b>16,06</b>	<b>17,20</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,29</b>	<b>0,40</b>

Tablica 18. Drap faktor za Garda gloss135 g/m<sup>2</sup> CD

LP	135 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD
	A	B
1	14,57	16,14
2	14,57	14,57
3	15,35	15,35
4	15,55	15,75
5	15,75	15,75
6	15,35	15,75
7	15,75	15,75
8	15,35	15,75
9	15,75	15,75
10	15,35	15,75
<b>aritm.</b>	<b>15,33</b>	<b>15,63</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,42</b>	<b>0,40</b>

Tablica 19. Drap faktor za Garda gloss135 g/m<sup>2</sup> MD

LP	135 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD
	A	B
1	18,90	18,50
2	19,29	19,29
3	18,50	18,11
4	19,69	18,90
5	18,90	18,90
6	18,50	19,29
7	18,50	18,50
8	18,90	18,50
9	18,90	18,90
10	19,29	18,50
<b>aritm.</b>	<b>18,94</b>	<b>18,74</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,37</b>	<b>0,36</b>

Tablica 20. Drap faktor za Garda gloss150 g/m<sup>2</sup> CD

LP	150 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD
	A	B
1	17,72	18,11
2	18,11	17,32
3	18,11	18,50
4	17,72	17,72
5	18,50	18,50
6	17,72	18,50
7	17,72	18,50
8	17,72	18,90
9	18,11	18,90
10	17,32	18,11
<b>aritm.</b>	<b>17,87</b>	<b>18,31</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,31</b>	<b>0,47</b>

Tablica 21. Drap faktor za Garda gloss150 g/m<sup>2</sup> MD

LP	150 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD
	A	B
1	21,65	22,83
2	23,23	21,65
3	22,83	23,23
4	22,44	21,65
5	21,65	22,05
6	23,23	22,44
7	22,44	22,44
8	22,05	21,65
9	21,65	23,23
10	22,83	21,65
<b>aritm.</b>	<b>22,40</b>	<b>22,28</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>

Tablica 22. Drap faktor za Garda gloss170 g/m<sup>2</sup> CD

LP	170 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - CD
	A	B
1	20,47	20,08
2	20,87	19,29
3	19,69	19,69
4	20,08	18,90
5	20,08	19,69
6	19,69	19,29
7	20,87	19,29
8	20,08	18,90
9	20,08	18,11
10	19,69	18,50
<b>aritm.</b>	<b>20,16</b>	<b>19,17</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,42</b>	<b>0,56</b>

Tablica 23. Drap faktor za Garda gloss170 g/m<sup>2</sup> MD

LP	170 - Bezdrvni premazani papiri B <sub>p</sub>	
	1-D (A)	1-D (B)
	Paper drapability faktor	
	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD	Š <sub>KB</sub> : 16 cm - MD
	A	B
1	24,80	22,44
2	24,02	21,65
3	24,80	22,44
4	23,62	22,05
5	25,59	22,05
6	24,41	21,26
7	24,80	22,44
8	23,62	21,26
9	25,59	22,44
10	23,62	21,26
<b>aritm.</b>	<b>24,49</b>	<b>21,93</b>
<b>st.dev.</b>	<b>0,72</b>	<b>0,50</b>

U tablicama je prikazana prosječna vrijednost drap faktora za svih pet gramatura papira, a mjerene vrijednosti su za dva različita formata papira koji imaju kratki tok vlaknaca u knjižnom bloku.

*Tablica 24. Drap faktor za format papira 14,8x21 cm, CD*

Format	Gramatura para	Drap faktor
14,8x21 cm	170 g/m <sup>2</sup>	20,87
14,8x21 cm	150 g/m <sup>2</sup>	17,72
14,8x21 cm	135 g/m <sup>2</sup>	16,54
14,8x21 cm	115 g/m <sup>2</sup>	14,57
14,8x21 cm	90 g/m <sup>2</sup>	12,2

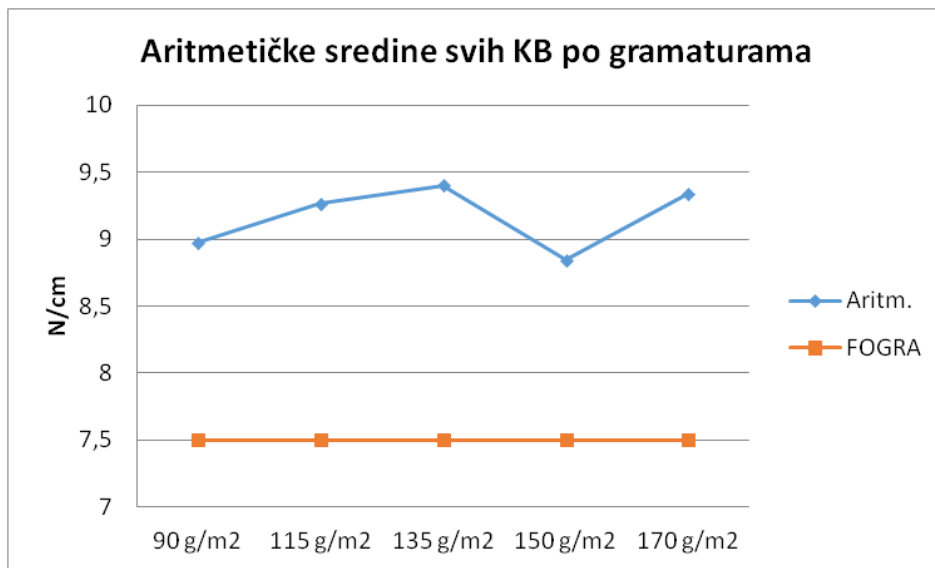
*Tablica 25. Drap faktor za format papira 31x31 cm, CD*

Format	gramatura para	Drap faktor
31x31 cm	170 g/m <sup>2</sup>	11,81
31x31 cm	150 g/m <sup>2</sup>	11,42
31x31 cm	135 g/m <sup>2</sup>	10,24
31x31 cm	115 g/m <sup>2</sup>	9,84
31x31 cm	90 g/m <sup>2</sup>	8,66

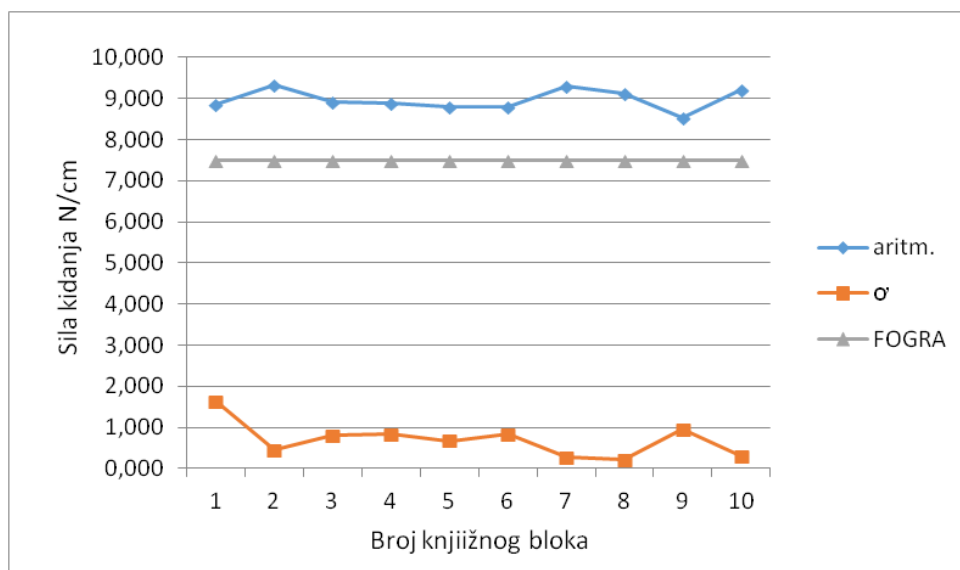
### 4.3 Diskusija

Rezultati mjerenja čvrstoće uveza premazanih papira s PUR ljepilom su pokazali kako je čvrstoća uveza vrlo dobra i uvelike premašuje standarde koje propisuje FOGRA. Pogledamo li grafikon 1. na kojem su prikazane aritmetičke sredine svih mjerenih knjiga razvrstanih prema težini papira možemo primjetiti vrlo malo odstupanje. Kod papira garda gloss 90 g/m<sup>2</sup> i 150 g/m<sup>2</sup> su izmjerene najniže vrijednosti, ali one su još uvijek u kategoriji vrlo dobar uvez prema normi koju propisuje FOGRA.

*Grafikon 1. Aritmetičke sredine sile kidanja za sve mjerene vrste papira*

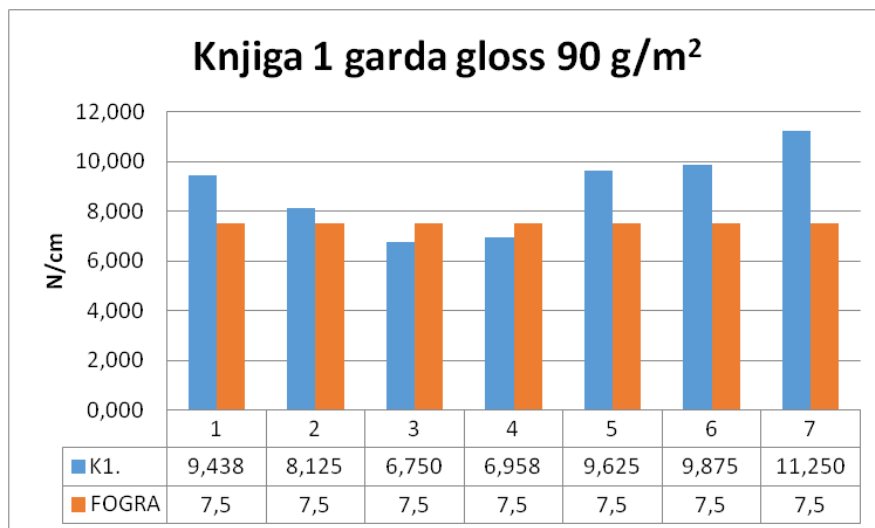


Grafikon 2. Aritmetičke sredine sile kidanja za 10 knjiga od papira Garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>



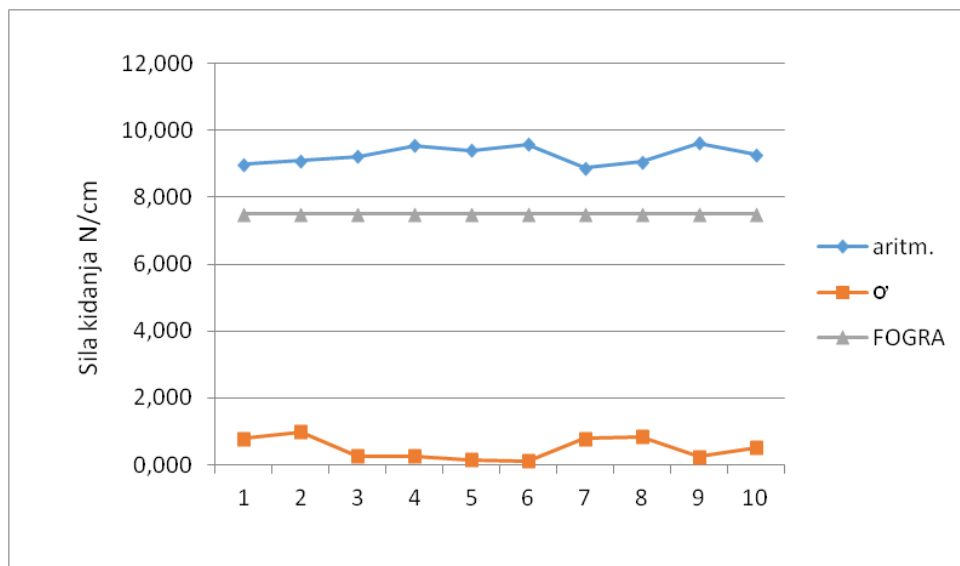
Iz grafikona 2. vidljivo je da uvez s papirom Garda gloss 90 g/m<sup>2</sup> uvelike iznad 7,5 N/cm. Kod prve knjige primjećujemo odstupanje, aritmetička sredina sile kidanja ima prosječnu devijaciju veću od 1. Na grafikonu 3. su prikazane sile kidanja za svako mjerno mjesto u uzorku broja 1. gdje možamo primijetiti da u sredini hrpta imamo najniže vrijednosti sile kidanja.

Grafikon 3. Sile kidanja iz uzorka br. 1 Garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>



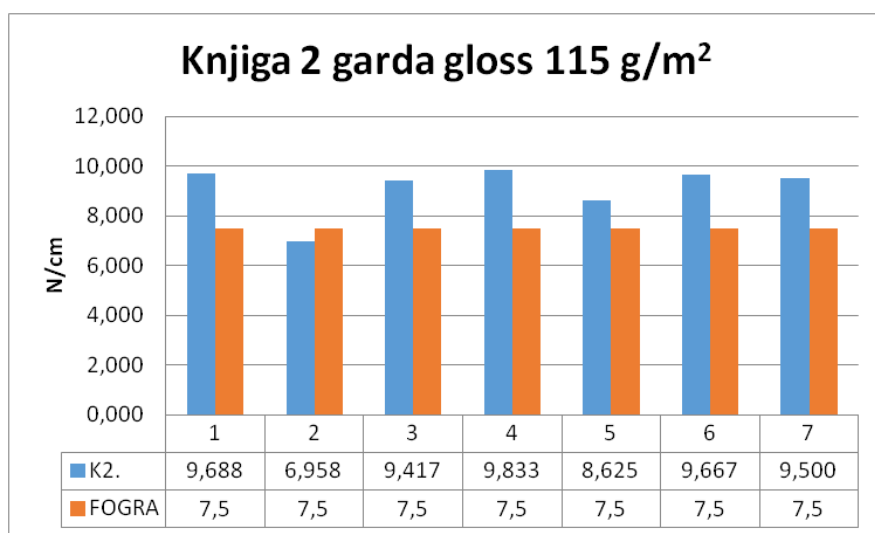
Za papir Garda gloss 115 g/m<sup>2</sup> možemo reći da je zadovoljio standard koji propisuje FOGRA po pitanju uvezivanja s PUR ljepilom. Iz grafikon 4. je vidljivo da aritmetičke sredine sile kidanja svih knjiga iznad 7,5 N/cm što znači da je uvez vrlo dobar.

Grafikon 4. Aritmetičke sredine sile kidanja za 10 knjiga od papira Garda gloss 115 g/m<sup>2</sup>



Kod druge knjige uočena je devijacija koja je približno 1 što je najveća devijacija primjećena kod ove vrste papira. U knjizi broj 2 na poziciji broj 2 uočena je sila kidanja koja je manja od propisane norme za vrlo dobar uvez i iznosi 6,958 N/cm.

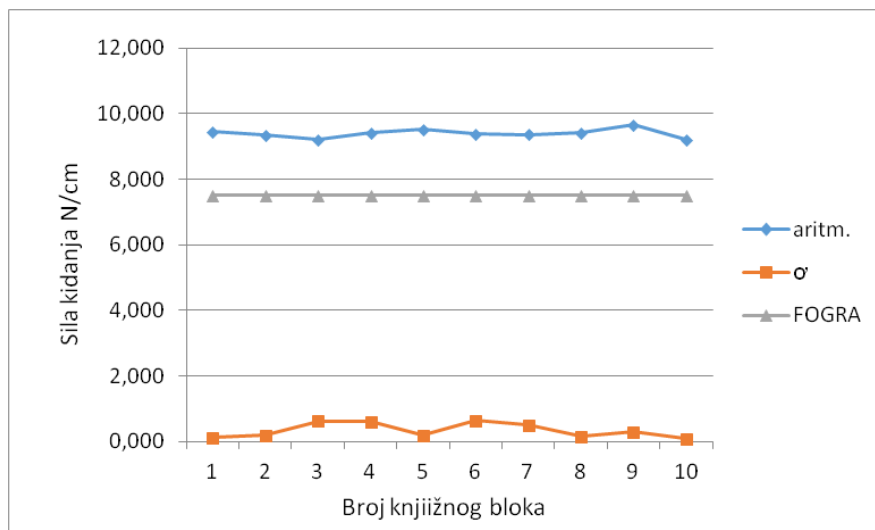
Grafikon 5. Sile kidanja iz uzorka br. 2 Garda gloss 115 g/m<sup>2</sup>





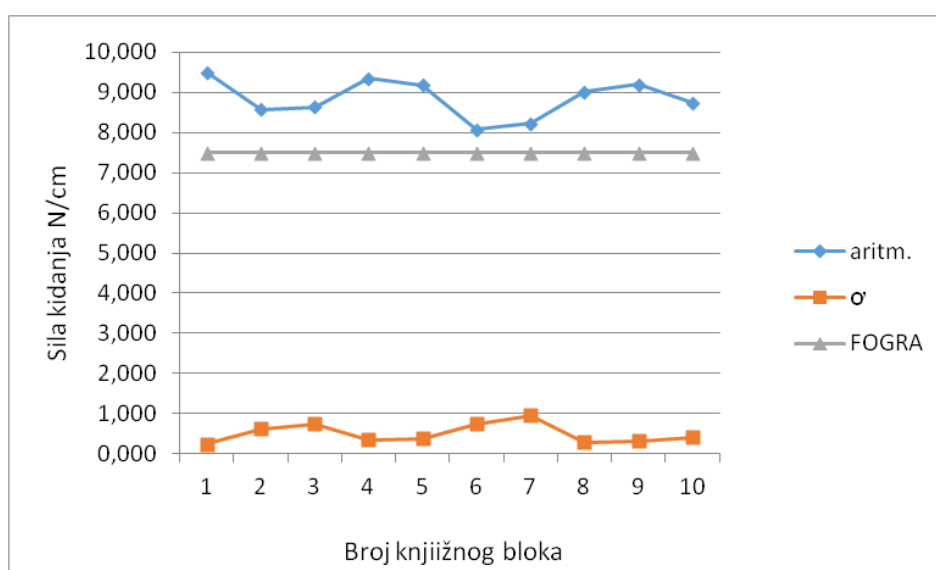
Papir Garda gloss 135 g/m<sup>2</sup> pokazao je najuravnoteženije sile kidanja te ujedno ima i najveću vrijednost sile kidanja, ako se uzme u razmatranje prosječna vrijednost sile za sve mjerene knjige izrađene od ove vrste papira koja iznosi 9,4 N/cm.

Grafikon 6. Aritmetičke sredine sile kidanja za 10 knjiga od papira Garda gloss 135 g/m<sup>2</sup>



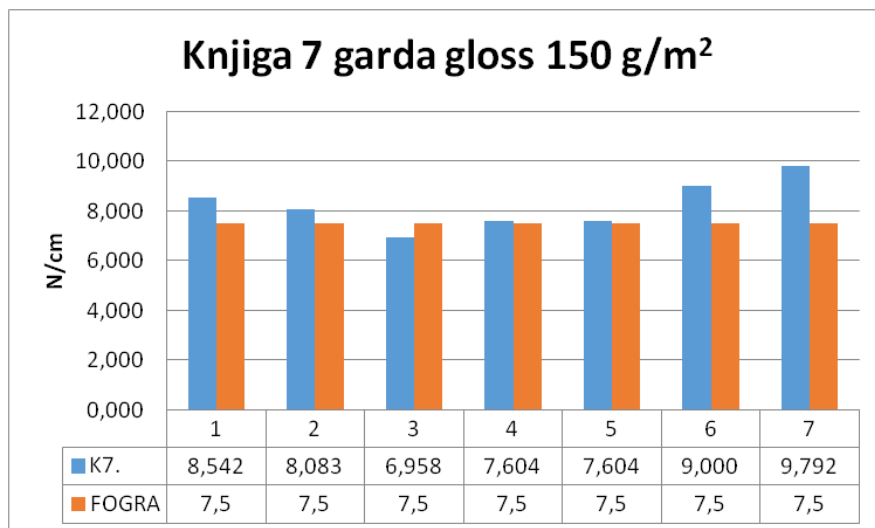
Papir Garda gloss 150 g/m<sup>2</sup> pokazao je dosta velika odstupanja od aritmetičke sredine vrijednosti sile kidanja. Ova vrsta papira ima najnižu prosječnu vrijednost sile kidanja od svih papira koji su korišteni u ovome istraživanju. Ako promatramo sve knjižne blokove ona iznosi 8,84 N/cm, što je i dalje u skupini vrlo dobar uvez prema normi koju propisuje FOGRA.

Grafikon 7. Aritmetičke sredine sile kidanja za 10 knjiga od papira Garda gloss 150 g/m<sup>2</sup>



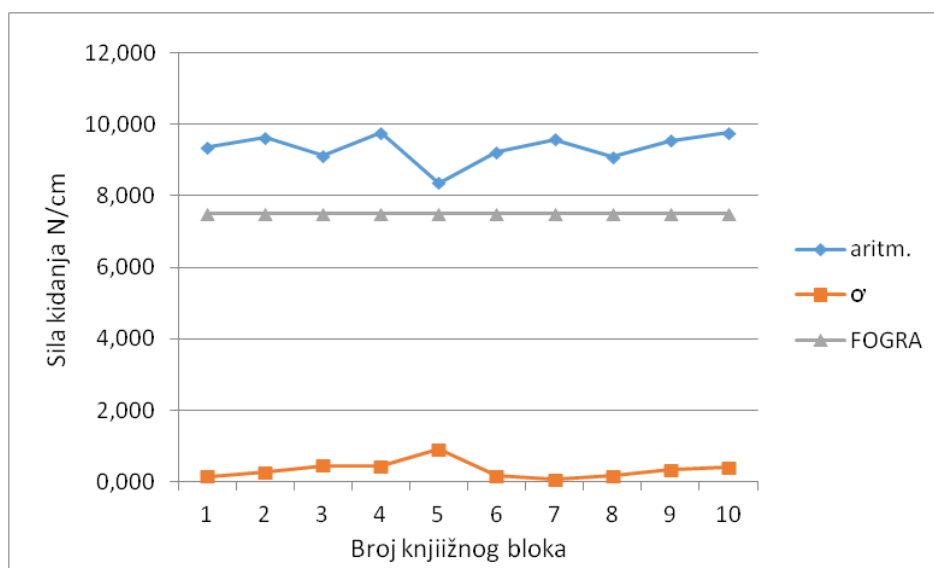
Kod knjige broj 7 uočena je devijacija koja je približno 1 što je najveća devijacija primjećena kod ove vrste papira. Uzrok ove promjene su mjerne pozicije 3, 4, 5, koje su na granici norme ili malo ispod nje. Kao i kod garde gloss 90 g/m<sup>2</sup> ove promjene, odnosno smanjenje čvrstoće uveza, nalaze se u središnjem području hrpta.

Grafikon 8. Sile kidanja iz uzorka br. 7 Garda gloss 150 g/m<sup>2</sup>



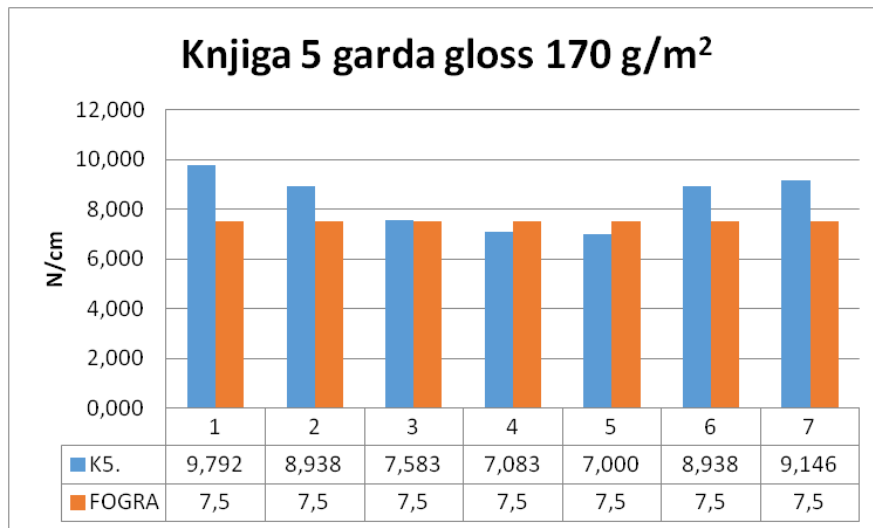
Papir Garda gloss 170 g/m<sup>2</sup> je pokazao kod svih mjerenih uzoraka vrlo veliku čvrstoću uveza. Prosječna vrijednost svih mjerenih knjiga je 9,34 N/cm što je dosta više od norme koju propisuje FOGRA.

Grafikon 9. Aritmetičke sredine sile kidanja za 10 knjiga od papira Garda gloss 170 g/m<sup>2</sup>



Kod knjige broj 5 uočena je devijacija koja je približno 1 što je najveća devijacija primjećena kod ove vrste papira. Uzrok ove promjene su mjerne pozicije 3, 4, 5, koje su na granici norme ili malo ispod nje. Kao i kod garde gloss 90 g/m<sup>2</sup> i Garde gloss 150 g/m<sup>2</sup> ove promjene, odnosno smanjenje čvrstoće uveza, nalaze se u središnjem području hrpta.

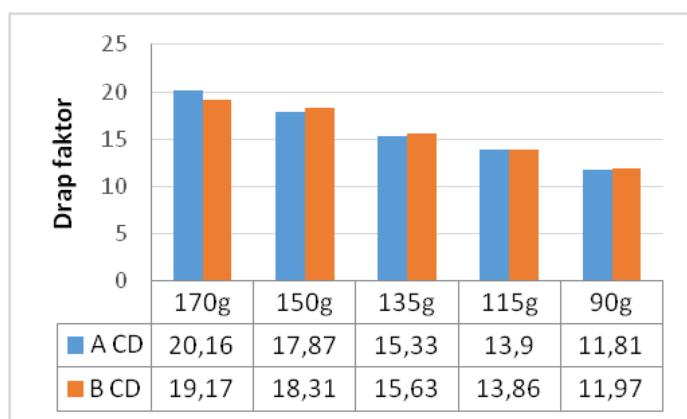
Grafikon 10. Sile kidanja iz uzorka br. 5 Garda gloss 170 g/m<sup>2</sup>



U sljedećim grafikonima biti će prikazana krutost papira u odnosu na njegovu gramaturu i format. Osnovna mjerenja su provedena na papiru koji odgovara knjižnom bloku od 16x24 cm, a radi usporedbe provedena su mjerenja i za formate KB od 14,8x21 cm, i 31x31 cm.

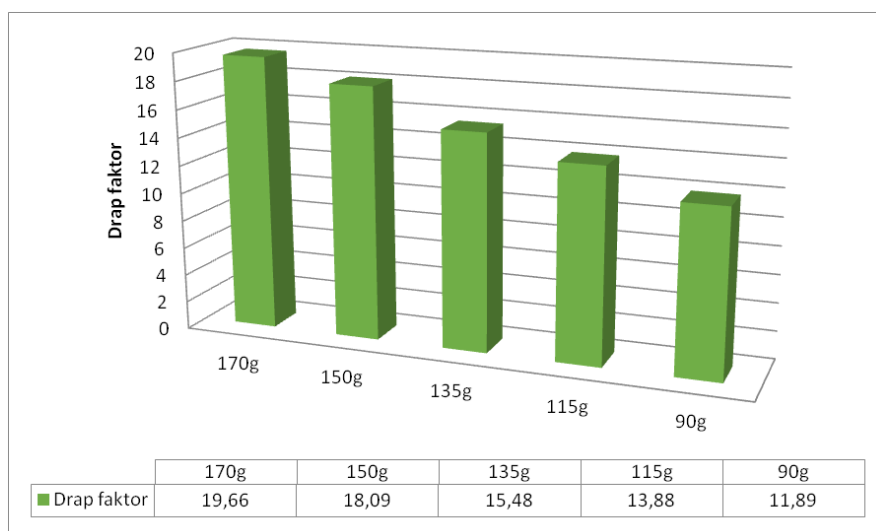
Mjerenje krutosti papira njegove prednje i stražnje strane pokazalo je jako malo odstupanje, mjerenje je rađeno po kratkom toku papira.

*Grafikon 11. Drap faktor prednje i zadnje strane papira mjereno po kratkom toku vlakana*



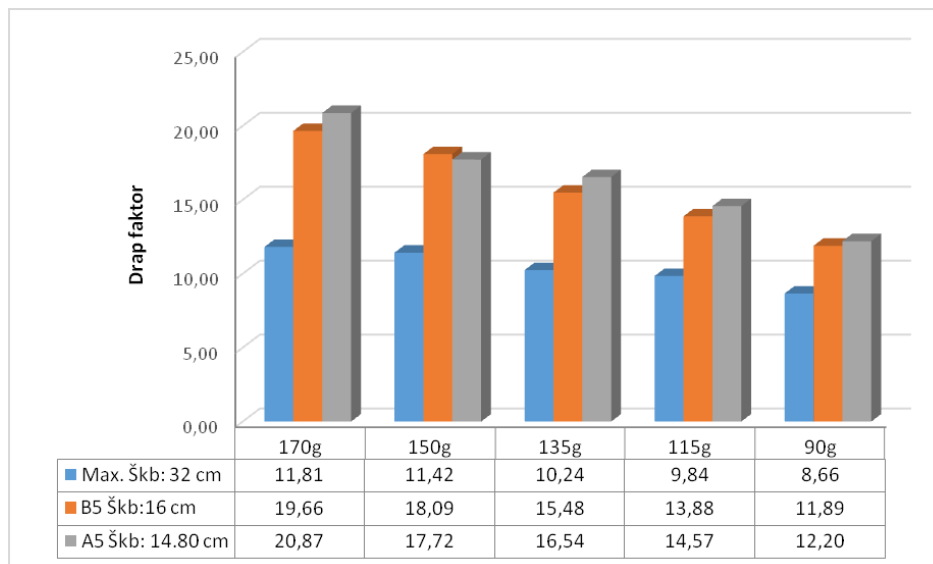
Iz grafikona 12. je vidljivo kako kod formata 16x24 cm najmanju krutost ima papir najmanje gramature i kako se krutost povećava povećanje gramature za isti format papira.

*Grafikon 12. Kategorizacija papira prema drap faktorima za format KB 16x24 cm, CD*



Na grafikonu br. 13 je prikazan odnos drap faktora i veličine papira, odnosno knjižnog bloka. Možemo primijetiti kako povećanjem površine papira opada njegova krutost.

*Grafikon 13. Odnos drap faktora veličine i gramature papira*





*Slika 25. Knjige formata 16x24 cm, izrađena od papira gardia gloss 90 g/m<sup>2</sup>, 115 g/m<sup>2</sup>, 135 g/m<sup>2</sup>, 150 g/m<sup>2</sup>, 170 g/m<sup>2</sup>, prikaz otvaranja knjige i deformacije hrpta*



*Slika 26. Knjige formata 14,8x21 cm, izrađena od papira garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>, 115 g/m<sup>2</sup>, 135 g/m<sup>2</sup>, 150 g/m<sup>2</sup>, 170 g/m<sup>2</sup>, prikaz otvaranja knjige i deformacije hrpta*



Slika 27. Knjige formata 31x31 cm, izrađena od papira gardia gloss 90 g/m<sup>2</sup>, 115 g/m<sup>2</sup>, 135 g/m<sup>2</sup>, 150 g/m<sup>2</sup>, 170 g/m<sup>2</sup>, prikaz otvaranja knjige i deformacije hrpta

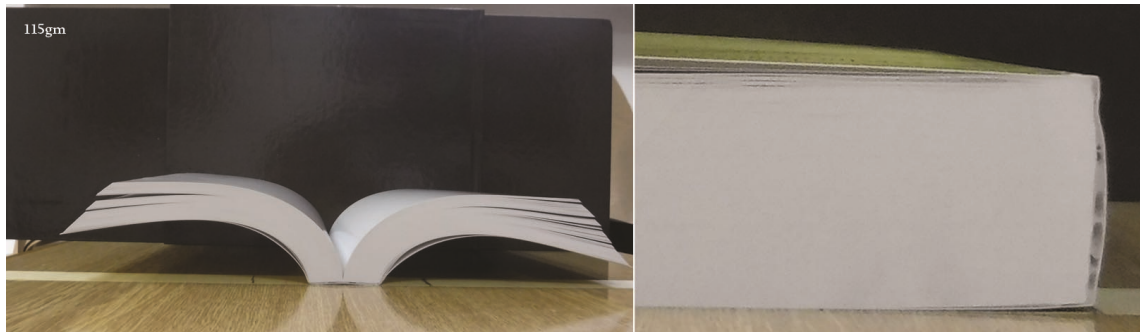


Na knjigama koje su napravljene za ovo istraživanje, u formatu 16x24 cm i debljine hrpta od 4 cm, možemo primjetiti da kod otvaranja knjige s gramaturama 90 g/m<sup>2</sup>, 115 g/m<sup>2</sup> i 135 g/m<sup>2</sup> zadovoljavaju uvjet za kvalitetan uvez da u momentu njezina otvaranja listovi stranica obiju polovica knjige čine jednu naslagu koja od linije uveza naglo raste, a zatim se blago spušta prema njezinim krajevima svaka na svoju stranu (slika 25.). Hrbat je elastičan i izdržava sile koje preko ljepila na njega vrši papir. Na knjizi izrađenoj od papira 150 g/m<sup>2</sup> dolazi do velike zakrivljenosti hrpta, uslijed velike krutosti papira otvorena knjiga ne zadovoljava osnovni kriteriji, njezini listovi ostaju u zraku, ne padaju od hrpta prema krajevima KB kako bi trebali. Knjiga izrađena od papira 170 g/m<sup>2</sup> u potpunosti je otvorena, hrbat je pod maksimalnim opterećenjem uslijed velike težine papira, knjiga ne bi mogla izdržati čestu upotrebu. U liniji otvaranja dolazi i do prekida kohezionih veza u ljepilo što doprinosi slabljenju uveza.

Na manjem formatu knjige 14,8x21 cm također je hrbat od 4 cm, kriterij zadovoljavaju papiri s gramaturama 90 g/m<sup>2</sup> i 115 g/m<sup>2</sup> dok kod papira od 135 g/m<sup>2</sup> vidimo deformaciju hrpta, uslijed krutosti papira. Listovi se dižu od knjižnog bloka u manjoj mjeri nego kod papira 150 g/m<sup>2</sup>, a knjiga izrađena od papira 170 g/m<sup>2</sup> nije u mogućnosti da samostalno ostane otvorena. U grafikonu br. 10. su prikazani *drap faktori* ovisno o formatu papira i njegovoj gramaturi, ova slika potvrđuje i dokazuje da papiri velike krutosti nisu pogodni za izradu knjiga maloga formata.

Knjiga formata 31x31 cm sa hrptom od 4 cm, izrađena od papira garda gloss 90 g/m<sup>2</sup>, 115 g/m<sup>2</sup> i 135 g/m<sup>2</sup>, zadovoljavaju kriterij kvalitetnog uveza koji je pogodan za čitatelja, a kod zadnje dvije gramature primjećujemo laganu deformaciju hrpta. Knjiga izrađena od papira 150 g/m<sup>2</sup> se sama otvara, ali dolazi do loma hrpta pod oštrim kutom što bi uslijed čestih otvaranja dovelo do njegovog pucanja, a kod knjige izrađene od papira 170 g/m<sup>2</sup> primijetimo da je potpuno otvorena i listovi stoje u ravnini što nam govori da je papir uslijed svoje krutosti i težine maksimalno opteretio liniju veza. Adhezivne sile su na maksimumu, ali ipak ljepilo svojim elastičnim svojstvima drži papir zalijepljen za hrpteni dio. Pošto papir ima veliku debljinu i samim tim veći broj celuloznih vlakana koji čine prijanjanje jačim, on dobro drži u uvezanoj knjizi, ali većim brojem otvaranja po istoj liniji vrlo brzo bi došlo do prekida adhezivne veze papir ljepilo. Do pucanja kohezivnih veza u ljepilo koje se nalazi u dnu listova dvaju papira je već došlo pri prvom otvaranju i umanjena je čvrstoća veza.

U prethodnim primjerima promatrane su knjige na čijem je hrptu bio nanos ljepila od 0,4 mm. Primjećene su velike deformacije na hrptu kod većih gramatura papira, a kod manjih gramatura hrbat se deformirao vrlo malo usljed djelovanja adhezivnih sila iz listova papira i ljepila. Za promatranje izrađen je jedna knjiga od papira garda gloss 115g /m<sup>2</sup> s nanosom ljepila na hrptu knjige od 1,2 mm. Na knjizi je primjećena deformacija hrpta, kako je nanos ljepila preveliki tako je hrbat izgubio je elastičnost i knjiga više nije u mogućnosti da se otvori kako bi zadovoljila kriterij.



*Slika 28. Knjiga izrađena od papira garda gloss 115 g/m<sup>2</sup>, ravni deformirani hrbat*

## 5 ZAKLJUČAK

U ovome radu dobili smo rezultate za čvrstoću uveza kod knjiga izrađenih od premazanoga papira različitih gramatura gdje je za meki uvez korišteno poliuretansko ljepilo (PUR). Rezultati pokazuju da knjige napravljene od premazanog papira svih pet promatranih gramatura zadovoljavaju standard FOGRA za meki uvez knjige. Utvrđeno je da kod izrade ovoga uveza posebna pozornost mora obrati na debljinu nanosa ljepila na hrptu knjige kako bi se zadovoljio uvjet za kvalitetan uvez da u momentu njezina otvaranja listovi stranica obiju polovica knjige čine jednu naslagu koja od linije uveza naglo raste, a zatim se blago spušta prema njezinim krajevima svaka na svoju stranu. Također je važno da kod piljenja hrptenog dijela knjige noževi moraju biti oštri, kako bi smanjili količinu papirne prašine, koja ukoliko je ima previše direktno utiče na kvalitetu uveza, smanjuje mogućnost prijanjanja ljepila za celulozna vlakna u listu papira. Ova pojava se najčešće događa u sredini hrpta.

Mjerenjima krutosti papira koja su provedena prema Jermanovoj metodi došli smo do zaključka da je krutost papira obrnuto proporcionalna njegovoj površini, dakle povećavanjem površine papira smanjuje se njegova krutost. Mjereni uzorci papira jedne gramature su rezani iz jednog arka, a mjerenja pokazuju da nemaju istu krutost, što znači da arak nije savršeno oslojen tijekom proizvodnje po cijeloj svojoj površini. Papir ima veću krutost kada se mjeri podugom toku vlaknaca knjižnog bloka.

Papiri koji su pokazali veliku krutost u ovim mjerenjima, a prvenstveno se radi o papirima  $150 \text{ g/m}^2$  i  $170 \text{ g/m}^2$  čvrsto su vezani za hrbat zbog velikih adhezivnih sila, kod formata  $16 \times 24 \text{ cm}$  i  $14,8 \times 21 \text{ cm}$  te nisu u mogućnosti da se samostalno otvore i da budu ugodne za korištenje. Ukoliko ih otvorimo na silu, tada dolazi do pucanja kohezivnih sila u ljepilu koje se nalazi u dnu između dva lista papira i na taj način se smanjuje kvaliteta uveza. Hrbat se savija pod ostrim kutom pri čemu se lomi i nije moguća česta upotreba. Knjige formata  $31 \times 31 \text{ cm}$  napravljene od ovih papira također se pri prvom otvaranju otvaraju do kraja što uzrokuje kidanje kohezivnih veza u ljepilu, a hrbat se lomi pod ostrim kutom. Ovi papiri nisu pogodni za izradu knjiga bešavnim uvezom.

Kod papira male krutosti, otvaranjem knjige hrbat se blago zakrivi, a knjige se otvaraju tako da kod linije uveza stvaraju naslagu koja lagano opada prema krajevima. Ovo potvrđuje tezu da su premazani papiri nižih gramatura i nižih vrijednosti krutosti papira, u ovom slučaju  $90 \text{ g/m}^2$  i  $115 \text{ g/m}^2$ , pogodni za izradu knjiga bešavnim uvezom s PUR ljepilom za format  $14,8 \times 21 \text{ cm}$ ,  $16 \times 24 \text{ cm}$  i  $31 \times 31 \text{ cm}$ . Papir  $135 \text{ g/m}^2$  je pogodan za izradu knjiga formata  $16 \times 24 \text{ cm}$ . Za papire veće gramature i formata koji nisu zadovoljili uvjete bešavne forme uveza, preporuča se šivana forma uveza ljepljena PUR ljepilom.

## 6 LITERATURA

- [1] <http://www.lzmk.hr/hr/izdanja/natuknice/120-hrvatska-enciklopedija/896-knjiga>,  
*Pogledano* (4. 5. 2017.)
- [2] A. Stipčević; *Povijest knjige*, Matica hrvatska, Zagreb, 2006.
- [3] D. Babić, *Knjiga, što je knjiga, da li je roba...?*, *Proceedings of the 1st International scientific and profesional confrence of graphic technology and design*, Kiseljak, BIH, 2009., str. 10.-24.
- [4] A. L. Lisac; *Razvoj industrije papira u Zagrebu*, Zagrebačka tvornica papira, Zagreb, 1961.
- [5] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Knjiga> , *Pristupljeno*: 9. 5. 2017.
- [6] Mesaroš Franjo (1970.) *Grafička enciklopedija*, Tehnička knjiga, Zagreb
- [7] B. Lozo, *Papir – Nasztavni materijali*, Grafički fakultet Zagreb, 2009.
- [8] Golubović A.; *Tehnologija izrade i svojstva papira*, Viša grafička škola, Zagreb, 1984. 7-135.
- [9] Plazibat M., *Tehnologija grafičkih materijala 1.dio*, 1972.
- [10] A. J. Kinloch, *Adhesion and Adhesives*; Science and Technology, Chapman&Hall, London, UK, 1995
- [11] <http://www.paperonweb.com/grade.htm> *Pristupljeno*: 3. 5. 2017.
- [12] K. Niskanen, I. Kajanto, P. Pakarinen; *Paper Physics*, Papermaking Science and Technology, Chapter, ISBN 952-5216-16-0 (book 16), 1998
- [13] G. Novak, *Grafični materiali*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Ljubljana, 2004, str. 14.

- [14] B. Tompson, *A PIRA International printing guide, Printing materials; Science and Technology, 2nd Edition, 2004, p. 194*
- [15] A. Golubović, I. Mališić-Adamou; *Svojstva i ispitivanje papira*, VGŠ, Zagreb, 1983.
- [16] J. C. Roberts; *The Chemistry of paper*, Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1996
- [17] G. Vamos, K. Hrljes, H. Mattyus; *Investigations on the pore structure of coated papers*, Conference Coating for the 80s, 1980
- [18] G. K. Van der Wel, O. C. G. Adan; *Moisture in organic coatings – a review*, *Progres sin Organic Coatings* 37, 1999, p. 1-14
- [19] Processing Matt papers; *Why do matt papers require special attention?*, Sappi Europea SA, 2001
- [20] Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedra za elemente strojeva i konstrukcija; *Lijepljeni spojevi*; dostupno na : <http://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/skripte-os.htm>; 11. 5.2017.
- [21] Petrie E.; *Bookbinding Adhesives*; dostupno na: [http://www.adhesivesmag.com/Articles/Assembly/BNP\\_GUID\\_9-5-2006\\_A\\_10000000000000320691](http://www.adhesivesmag.com/Articles/Assembly/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000320691); 6.5.2017.
- [22] Josip Gorišek, *Henkel prezentacija PUR ljepila*, 2015.
- [23] Novaković Dragoljub, *Obradni postupci povezivanja i spajanja materijala lepljenjem brošure*, 2011. dostupno na: <https://www.scribd.com/document/238432917/Spajanje-i-Lepljenje>, *Pristupljeno: 5. 5.2017.*
- [24] F. Awaja, M. Gilbert, G. Kelly, B. Fox, P. J. Pigram; *Journal Adhesion of polimers, Progres in Polymer Science*, Elsevier, 2009, p. 587-21
- [25] J. H. Song, J. K. Lim; *Bonding Strength in Structural Adhesive Bonded Joint*, *Metals and materials International*, Vol.7, No.5, 2001, p. 467-470
- [26] A. Pizzi, K. L. Mittal; *Handbook of Adhesive Technology: The Mechanical Theory of Adhesion*, Marcel Dekker, New York, 2003
- [27] A. J. Kinloch; *Journal of Material Science* 1980:15:2141-66
- [28] F. Garbassi, M. Morra, E. Occhiello; *Polymer Surface from Physics to Technology*, West Sussex, England, 1998

- [29] Kipphan. H. (2001). *Handbook of print media: technologies and production methods*, New York, ISBN 3-540-67326-1, str. 775-901
- [30] P.Jerman; *Spine Control, In Reflections on Book Structures-Part 3 and Structures - Part 2 I discussed glue line failures*. Available to:  
<http://www.google.hr/search?q=spine%20control%2C%20jermann&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a&source=hp&channel=np>  
(10.5.2017.)
- [31] <http://www.adhesives.org/StructuralDesign/AdhesionCohesionTheory.aspx>  
(9.5.2017.)
- [32] Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu ; Knjigoveštvo 1; Vježba ERR-8;  
dostupno na:  
<http://dorada.grf.unizg.hr/media/ERR%20materijali%202012/ERR-8.pdf>;  
9.5 .2017.
- [33] <http://www.henkel-adhesives.com/industrial/brands-5497.htm>, 11. 5.2017.