

# Istraživanje tehnoloških i mehaničkih osobina reaktivnih poliuretanskih taljivih ljepila

## RESEARCH ON PRODUCTION AND MECHANICAL PROPERTIES OF REACTIVE POLYURETHANE HOT MELT ADHESIVES

Željko Šonje, dipl. ing.  
Klebchemie — Weingarten

Prof. dr. Boris Ljuljka  
Šumarski fakultet — Zagreb

UDK 630:824.839

Prispjelo: 8. rujna 1990.  
Prihvaćeno: 15. listopada 1990.

Prethodno priopćenje

### Sažetak

U ovom radu su istraživane mehaničke osobine spojeva drvo — poliuretansko taljivo ljepilo — drvo i kombinacije tog ljepila u sistemu drvo plastika i drvo — metal pri primjeni različitih formulacija tih ljepila. Ispitan je utjecaj otvorenog vremena, tlaka i sadržaja vode na čvrstoću spoja. Usto je ispitana prikladnost lijepljenja različitih plastičnih materijala, postojanost prema višim i nižim temperaturama, kao i starenje zalijepljenog spoja pri konstantnoj temperaturi. Provedeno je komparativno ispitivanje upjenjenog i kompaktnog ljepila. Pravilnim izborom parametara lijepljenja može se bitno utjecati na kvalitetu spoja.

### Summary

The paper deals with the research on mechanical properties of the joints: wood-polyurethane hot melt glue-wood as well as in the following combinations: wood-plastics, and wood-metal, by application of various formulations of these glues. The influence of open time, pressure and water content on joint strength has been tested. The tests have been made also on the possibility of gluing various plastic materials, on resistance to higher and lower temperatures and on aging at a stable temperature. A comparative test on foam melt and compact glues has been carried out. The joint quality can be significantly influenced by a proper selection of gluing parameters.

(v. k.)

### UVOD

U tehnici lijepljenja poliuretanska taljiva ljepila (PU-t ljepila) zauzimaju važno mjesto. Posljednjih godina zapažen je veoma nagao razvoj tih sistema. Uz pomoć PU-t ljepila napravljen je proboj u području lijepljenja pri postupcima sastavljanja (montaže) i oblaganja rubova profila i sl. u industriji i zanatstvu. Ta ljepila ispunjavaju najviše zahtjeve u smislu otpornosti na vodu i toplinu. Područje njihove primjene vrlo je široko: lijepe drvo, drvene materijale, kamen, beton, metale i plastične materijale.

Reaktivna PU-t ljepila u sebi sjedinjuju osobine dosadašnjih taljivih ljepila. Kemijski sastojci tih ljepila su lako taljivi poliuretan i slobodne grupe izocijanata. Proces otvrdnjavanja je fizikalni i kemijski. Oba procesa teku paralelno, različitom brzinom. Kao i u svih ostalih ljepila, nastaje trenutačno otvrdnjavanje hlađenjem, a kemijski proces otvrdnjavanja teče polaganije. Za sam fizikalni proces karakteristične su dvije pojave:

— brzo skrutnjavanje zbog prelaska iz tekućega na kruto stanje;

— gotovo istodobna, ali malo polaganija kristalizacija, u toku koje se stvara određeni porudak molekula.

Obje pojave osiguravaju visoku početnu čvrstoću, karakterističnu za sva taljiva ljepila.

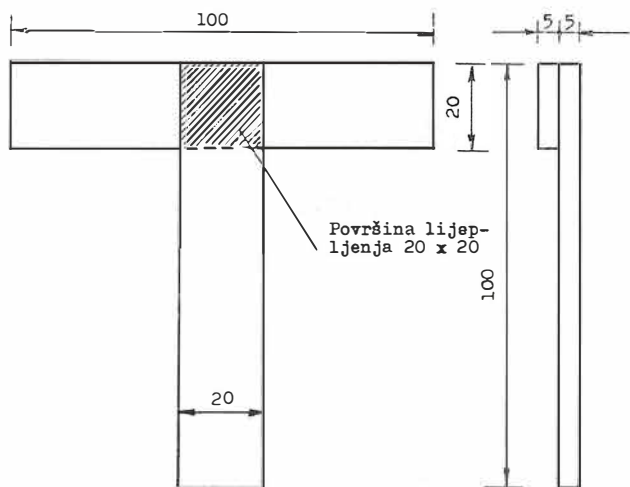
Kemijsko otvrdnjavanje ostvaruje se zahvaljujući reakciji slobodnih grupa izocijanata s vlagom i umrežavanju molekula polimera, čime se osigurava netaljivost i netopljivost te dobra mehanička i kemijska postojanost.

Brzina otvrdnjavanja ovisi o dovedenoj vlazi (vodi) i o temperaturi.

### ISPITIVANJE REAKTIVNIH POLIURETANSKIH TALJIVIH LJEPILA

Da bi korisnik ljepila maksimalno sigurno uveo i primjenjivao neki novi materijal, svaki proizvod u toku postizanja proizvodne zrelosti mora proći kroz niz testova i pri tome zadovoljiti određene uvjete. Tako su za nova PU-t ljepila provedeni brojni pokusi.

Kao najprikladniji oblik uzorka za ispitivanje izabran je T-spoj od bukovine, debljine 5 mm (DIN 53 254/EN 205 Entwurf); vidi sliku 1. Broj uzoraka svake grupe bio je  $n = 6$ . Sva su ispitivana ljepila uzeta iz redovne proizvodnje tvrtke Klebchemie, Weingarten, SRNJ.



Sl. 1 — Uzorak za ispitivanje PU-t ljepila  
Fig. 1 — Specimen for testing of polyurethane hot melt glue

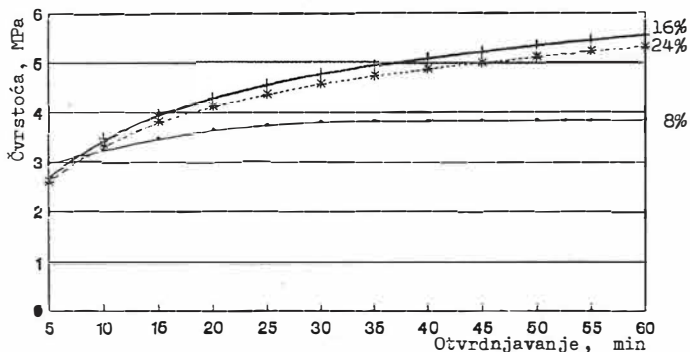
UTJECAJ SADRŽAJA VODE U DRVU NA ČVRSTOĆU SPOJA

Kao što je već spomenuto, poslije fizikalnog procesa otvrdnjavanja slijedi kemijski, koji ovisi o raspoloživoj vodi i o temperaturi. Uzorci su klimatizirani na sadržaj vode 8, 16 i 24%, slijepljeni PU-t ljepilom i ispitani u određenim vremenskim razmacima.

Parametri lijepljenja i ispitivanja:

- tlak 0,9 MPa
- trajanje tlačenja 5 s
- nanescena količina ljepila 180 g/m<sup>2</sup>
- brzina ispitivanja 50 mm/min

Promjene čvrstoće pri smicanju vlakom ovisno o trajanju otvrdnjavanja i sadržaju vode u drvu prikazane su na slici 2. Čvrstoća spojeva nakon pola godine na sobnoj klimi (20 °C/65% relativne vlage zraka) dana je na slici 3. U ovom ispitivanju na čvrstoću su utjecala dva faktora:

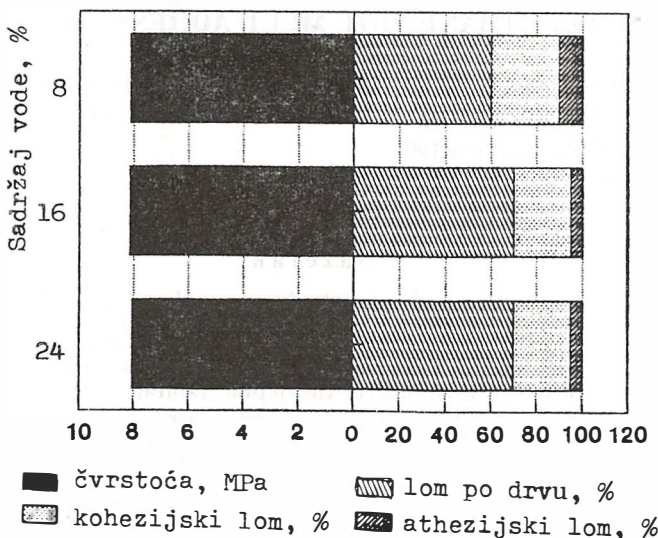


Sl. 2 — Ovisnost čvrstoće spoja o trajanju otvrdnjavanja i sadržaju vode u drvu  
Fig. 2 — Dependence of joint strength on duration of hardening and water content in wood

faktor A — sadržaj vode u drvu, u tri stupnja (8, 16 i 24%);

faktor B — trajanje otvrdnjavanja, u šest stupnjeva (5 min — 8 sati).

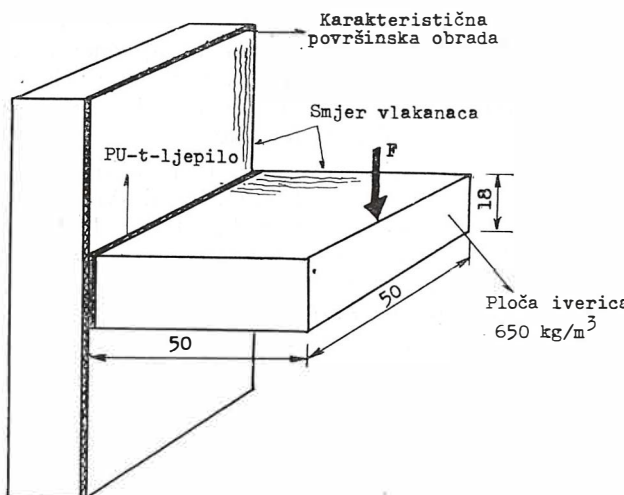
Analizom varijance ispitani su utjecaj pojedinih faktora na čvrstoću spoja. Oba faktora i njihove interakcije imali su signifikantan utjecaj na čvrstoću spoja.



Sl. 3 — Čvrstoća spoja nakon otvrdnjavanja od pola godine pri 20°C i 65%-tnoj relativnoj vlažnosti zraka  
Fig. 3 Joint strength after 1/2 year hardening at 20°C and 65% relative air humidity

ČVRSTOĆA NA SAVIJANJE NAKON LIJEPLJENJA NA RAZLIČITE POVRŠINE

Za ovo su ispitivanje izrađeni uzorci od ploče iverice furnirane hrastovim furnirom debljine 18 mm, koji su kao konzola lijepljeni na različito obrađene površine; vidi sliku 4.



Sl. 4 — Uzorak za ispitivanje spoja pri lijepljenju na različite površine  
Fig. 4 — Specimen for testing joint when gluing different surfaces

Ljepilo je nanošeno u obliku valjka (gliste) promjera 3–4 mm, a nakon priljublivanja prekriva cijelu površinu. Tlak je bio 0,9 MPa, trajanja tlačenja 30 s, nanosena količina 180 g/m<sup>2</sup>, brzina kidanja-ispitivanja 25 mm/min. Ispitivanje je provedeno sedam dana nakon lijepljenja.

UTJECAJ OTVORENOG VREMENA I TLAKA NA ČVRSTOĆU SPOJA

Otvoreno vrijeme važan je parametar u tehnologiji lijepljenja. Primjenimo li reaktivna PU-t ljepila za sastavljanje (montažu), možemo očekivati dulje otvoreno vrijeme nego u slučaju dosadašnjih taljivih ljepila na bazi kopolimera, etilena i vinil-acetata. Otvoreno vrijeme i za PU-t ljepila ovisi o radnoj temperaturi, klimatskim uvjetima okoline i količini nanosenog ljepila.

Radne temperature za ispitivana ljepila iznose:

| Ljepilo | Temperatura (°C) |
|---------|------------------|
| 702     | 130              |
| 703.2   | 130              |
| 704     | 150              |
| 706     | 160              |

Iz prikaza se vidi da su za primjenu tih ljepila potrebne različite radne temperature, odnosno da navedena ljepila pri jednakim temperaturama imaju različite viskozitete.

Tlak je bitan parametar za lijepljenje. Za ispitivanje njegova utjecaja izrađeni su uzorci prema slici 1. i prema prijašnjem opisu ispitivanja utjecaja sadržaja vode. Ispitivanje je provedeno sedam dana nakon lijepljenja.

Istraživanja utjecaja otvorenog vremena i tlaka provedena su prema sljedećoj shemi.

| Utjecajni činitelj | Oznaka činitelja | Razina         |
|--------------------|------------------|----------------|
| ljepilo            | A                | A1, A2, A3, A4 |
| tlak               | B                | B1, B2, B3     |
| otvoreno vrijeme   | C                | C1, C2         |
| A1 — 702           | B1 — 0,25 MPa    | C1 — 5 s       |
| A2 — 703.2         | B2 — 0,45 MPa    | C2 — 30 s      |
| A3 — 704           | B3 — 0,90 MPa    |                |
| A4 — 706           |                  |                |

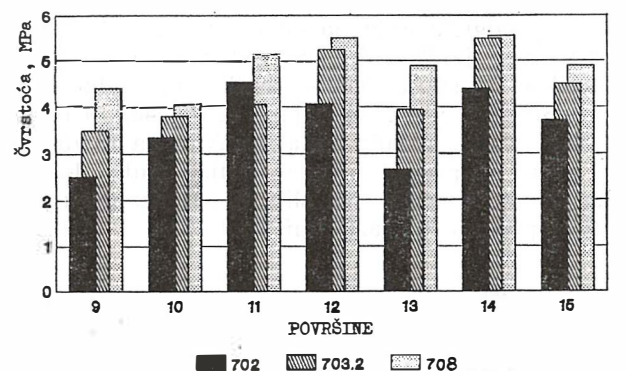
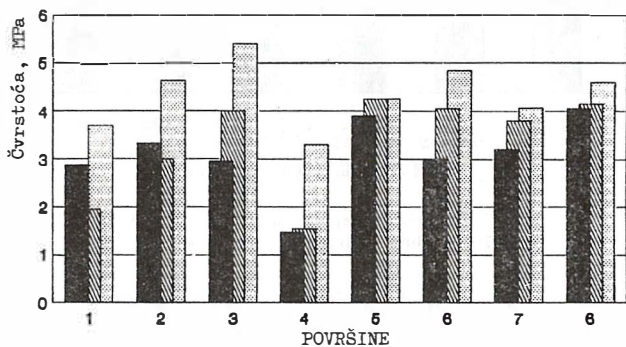
Statističkom analizom ustanovljen je i signifikantni utjecaj otvorenog vremena na čvrstoću spoja. Za ilustraciju navodimo prosječne vrijednosti.

|                       |   |     |
|-----------------------|---|-----|
| Otvoreno vrijeme (s): | 5 | 30  |
| Čvrstoća spoja (MPa): | 8 | 7,2 |

Odnos tlaka i čvrstoće spoja:

|                       |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|
| tlak (MPa):           | 0,9  | 0,45 | 0,25 |
| čvrstoća spoja (MPa): | 7,42 | 7,76 | 7,64 |

Nije ustanovljen statistički signifikantan utjecaj tlaka na čvrstoću spoja.



- 1 - KO-lak 1
- 2 - KO-lak vodeni 2
- 3 - NC-lak 3
- 4 - KO-lak 4
- 5 - Akрил vodeni elektronski otvrdnjen
- 6 - Akрил vodeni elektronski otvrdnjen, razlika u sjaju
- 7 - KO-lak vodeni 5
- 8 - KO-lak vodeni 6
- 9 - Melaminska smola bijela
- 10 - Melaminska smola, hrast
- 11 - KO-lak za parket
- 12 - PU-lak pigmentirani
- 13 - PU-lak svjetlootporni
- 14 - PU-lak transparentni obični
- 15 - NC-lak

Slika 5. Čvrstoće spojeva na različitim površinama  
Fig. 5 — Joint strength on different surfaces

Ispitivanjem su obuhvaćena tri ljepila s oznakama 702, 703.2 i 708 te 15 vrsta podloga. Dobiveni su rezultati zorno prikazani na slici 5, gdje su upisane sve vrste podloga.

Prosječnu čvrstoću pojedinog ljepila na svim podlogama daje sljedeći prikaz.

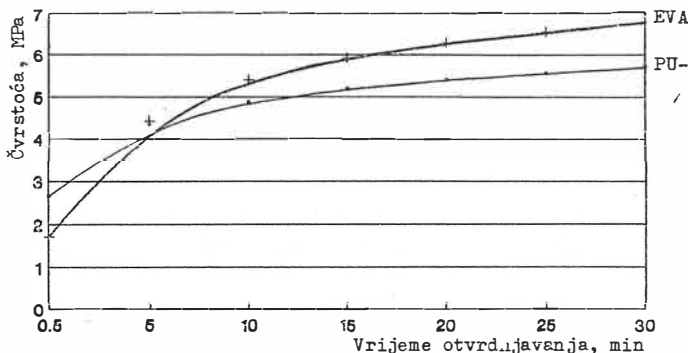
| Ljepilo | Čvrstoća (MPa) | Lom po iverju (%) |
|---------|----------------|-------------------|
| 702     | 3,33           | 30                |
| 703.2   | 3,82           | 45                |
| 708     | 4,62           | 60                |

## UTJECAJ TRAJANJA OTVRDNJAVANJA NA ČVRSTOĆU SPOJA

Utjecaj trajanja otvrdnjavanja na čvrstoću spoja odlučujući je faktor za primjenu nekog ljepljiva. Na mnoge zahtjeve koji se javljaju u toku postupka lijepljenja utječe odnos trajanja otvrdnjavanja i čvrstoće (sile izravnivanja, unutrašnjih naprezanja, pomak/takt, daljnja obrada).

Sile izravnivanja obloge, tj. odljepljivanja, osobito su velike pri oblaganju zakrivljenih ploha furnirima (softforming).

Ispitivanja su provedena na uzorcima izrađenim prema slici 1. i već spomenutim ostalim uvjetima, s tim da je nanosena količina bila 150 g/m<sup>2</sup>, a radna temperatura 130—160 °C. Ispitivanja čvrstoće provedena su sedam dana nakon lijepljenja. Na slici 6. prikazani su rezultati ispitivanja PU-t ljepljiva i EVA ljepljiva za oblaganje (Ummantelung).



Sl. 6 — Usporedba EVA ljepljiva sa PU-t ljepljivom

Fig. 6 — Comparison of EVA and polyurethane hot melt glue

## ČVRSTOĆA SPOJA DRVO—PLASTIKA

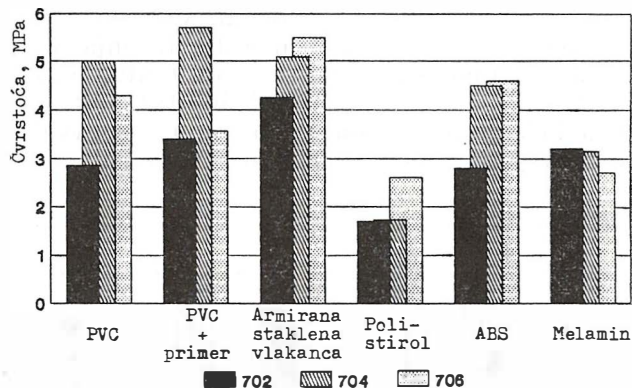
U proizvodnji namještaja veliko značenje imaju spojevi drvo—plastika. Za ispitivanje tih spojeva izrađeni su uzorci prema slici 1.

Horizontalni dio bio je od drva, a vertikalni od plastike debljine 2—4 mm, temperatura je iznosila 130—160 °C, tlak 0,8 MPa, trajanje tlačenja 30 s, nanosena količina 180 g/m<sup>2</sup>, a brzina ispitivanja (kidanja) bila je 25 mm/min.

Ispitivanje čvrstoće provedeno je nakon sedam dana. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 7. Vidi se da se i na tim spojevima postižu dosta visoke čvrstoće, posebno s ljepljivima 704 i 706.

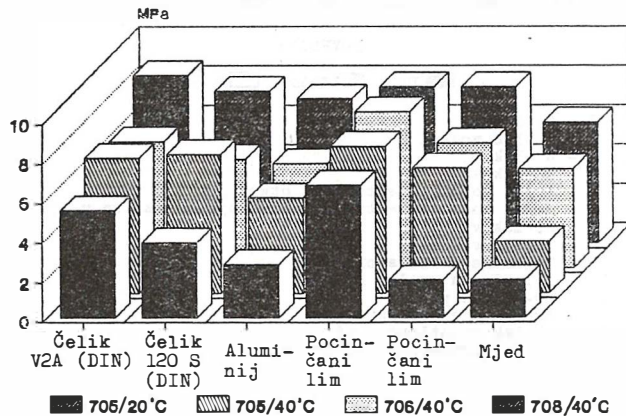
## ČVRSTOĆA SPOJA DRVO—METAL

Lijepljenje metala česta je pojava u proizvodnji namještaja, pa je bilo zanimljivo ispitati i takve spojeve. Za potrebe pokusa metali su odmašćeni. Inače, pri lijepljenju metala svatko pokusima mora ustanoviti optimalne uvjete. Pritom



Sl. 7 — Čvrstoća spoja drvo — plastika  
Fig. 7 — Joint strength: wood — plastics

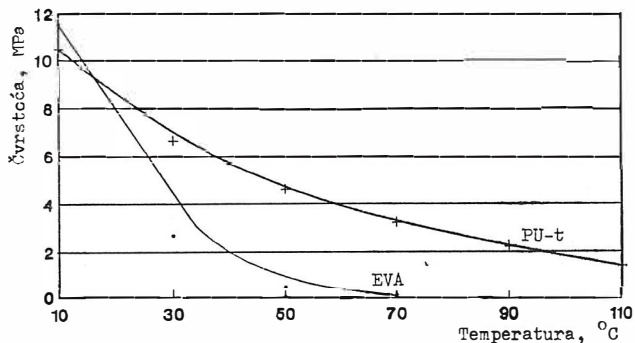
veliku pomoć pruža primjena primera ili drukčije površinske obrade, kao i predgrijavanje metalnih površina. Pokusima na kromatiranom aluminiju i s ljepljivom 706 ustanovljeno je da je za taj slučaj predgrijavanje na 40 °C znatno poboljšalo čvrstoću spoja. Pokusi su provedeni na istim uzorcima kao i u spoju drvo—plastika, a metalne trake debljine 1 mm predgrijane su na 40, 70 i 100 °C. Rezultati tih ispitivanja upućuju na to da se uz dobru pripremu limova postižu zadovoljavajuće čvrstoće spoja. Na slici 8. prikazani su rezultati pokusa na različitim metalima.



Sl. 8 — Čvrstoća spoja na različitim metalima  
Fig. 8 — Joint strength on different metals

## POSTOJANOST PREMA VIŠIM I NIŽIM TEMPERATURAMA

Uzorcima su izrađeni prema slici 1, a ostali su uvjeti jednaki uvjetima drugih ispitivanja s istim uzorkom. Ispitivan je spoj drvo—drvo. Na slici 9. dane su čvrstoće spoja pri različitim temperaturama taljivih EVA-ljepljiva i PU-t ljepljiva, naminjenjenih oblaganju. Dobro se vide različite osobine tih ljepljiva pri povišenim temperaturama. Ispitivanja pri sniženju temperature do -20 °C pokazala su da nastaje neznatno smanjenje čvrstoće spoja sa svim PU-t ljepljivima. To smanjenje u

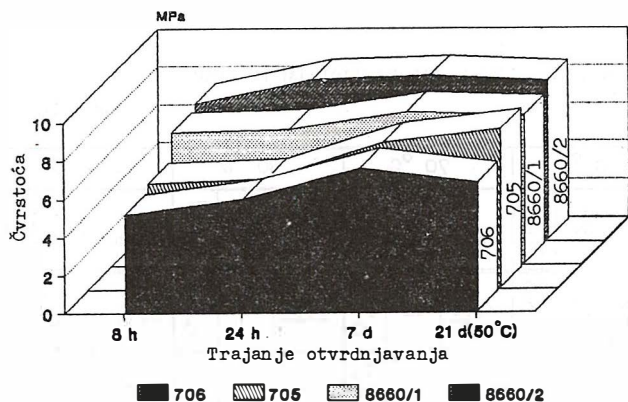


Sl. 9 — Čvrstoća spoja drvo — drvo pri različitim temperaturama, te EVA-ljepila i PU-t ljepljiva za oblaganje  
 Fig. 9 — Joint strength wood — wood at different temperatures and EVA and polyurethane hot melt glue for coating

odnosu prema čvrstoći pri +20 °C iznosi maksimalno oko 10%.

STARENJE PRI TEMPERATURI 50 °C

Ispitivanja su provedena na jednakim uzorcima kao i ispitivanje otpornosti prema povišenoj temperaturi. Uzorci su izlagani temperaturi 50 °C u toku 500 sati. Rezultati upućuju na to da takvim starenjem ne nastaju veće kohezijske promjene ljepljiva niti adhezijske promjene u spoju. Promjene čvrstoće u toku starenja (otvrdnjavanja) pri temperaturi 50 °C prikazane su na slici 10.



Sl. 10 — Otpornost spojeva prema starenju  
 Fig. 10 — Joint resistance to aging

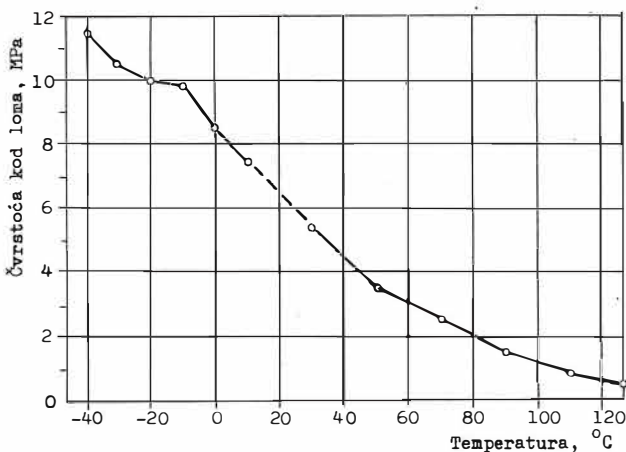
ČVRSTOĆA NA SMICANJE SPOJEVA NA RUBOVIMA

Primjena PU-t ljepljiva u automatskim strojevima za naljepljivanje rubova zahtijeva posebnu prilagodbu, naročito ako je ljepljivo u obliku »patrone«. Viskoznost ljepljiva za tu primjenu viša je nego pri montažnom lijepljenju. Time se osigurava tačnije doziranje i bolje nanošenje valjcima ili sapnicama. Pritom se donekle postiže efekt zapunjavanja, što je na pločama iverica, kojima

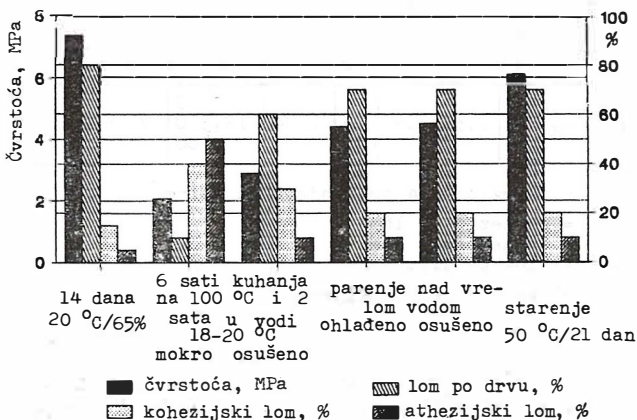
gustoća i povezanost čestica u središnjem dijelu nije osobito visoka, velika prednost. Pomak pri svemu tome mora ostati u prihvatljivim granicama, čvrstoća spoja ne smije trpjeti, pri čemu se ljepljivo mora vrlo brzo skrutnjavati.

Provedeni su mnogi pokusi naljepljivanja masivnog drva debljine do 15 mm na rubove ploča, uz pomak 20 m/min, pri čemu se nisu javili nikakvi problemi.

Istraživanja su provedena na rubnom materijalu od bukovine, debljine 12 mm, prilijepljenom strojem Holz-Her pri 160 °C na ploču ivericu. Površina lijepljenja iznosila je 19 × 24 mm, pri čemu je duljina preklopa bila 24 mm. Nakon otvrdnjavanja od 14 dana uzorci su ispitani na smicanje tlakom, uz brzinu ispitivanja 25 mm/min. Na slici 11. prikazano je ponašanje spoja pri povišenju i sniženju temperature. Na slici 12. dan je prikaz čvrstoće spoja nakon različitih tretmana.



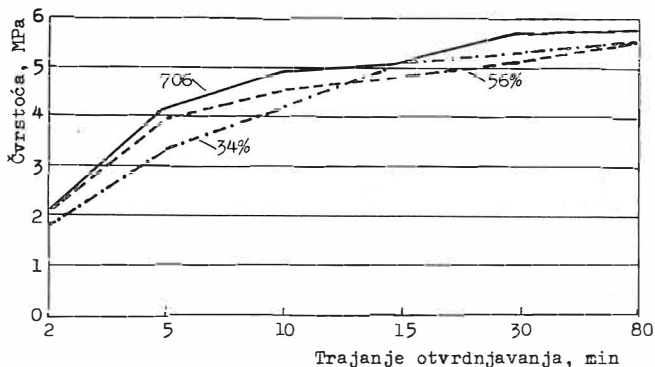
Sl. 11 — Otpornost spoja bukovina — iverica prema smicanju tlakom pri različitim temperaturama (PU-t ljepljivo 707)  
 Fig. 11 — Resistance of joint: beech-chipboard to shear by pressure at different temperatures (polyurethane hot melt glue 707)



Sl. 12 — Čvrstoća spojeva nakon različitih tretmana  
 Fig. 12 — Joint strength after different treatments

KOMPARATIVNO ISPITIVANJE KOMPAKTNOG I UPJENJENOG LJEPILA

Dodavanjem plina (dušika) kompaktnom ljepilu dobije se ljepilo smanjene gustoće, čime se postiže ušteda ljepila. Uzorci su napravljeni u stroju za nanošenje taljivih kompaktnih i upjenjenih ljepila FOAMMELT 170 T tvrtke NORDSON. Ispitivanje je provedeno ljepilom 706 i na već opisanim T-spojevima DRVO—DRVO. U pokusima je pripremljeno ljepilo kojemu je pjenjenjem povećan volumen za ~34% i za ~56%. Rezultati istraživanja navedeni su u tablici I. i dani na slici 13.



Sl. 13 — Čvrstoća spoja kompaktnoga i upjenjenog ljepila  
Fig. 13 — Joint strength of compact and foam melt glue

ČVRSTOĆA SPOJA KOD PRIMJENE KOMPAKTNOG I UPJENJENOG LJEPILA

Tablica I.

|               | 2 min      |       |               | 5 min      |       |               | 10 min     |       |               | 15 min     |       |                | 30 min     |       |                | 1 h        |       |                | 8 h        |       |                | 24 h       |       |                | 7 dana     |       |                | 21 dan, 50 °C |    |               |
|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|----------------|------------|-------|----------------|------------|-------|----------------|------------|-------|----------------|------------|-------|----------------|------------|-------|----------------|---------------|----|---------------|
|               | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL LD       |               |    |               |
| 706           | 2,07       | 16    | 70<br>30<br>0 | 4,17       | 7     | 40<br>60<br>0 | 4,94       | 5     | 45<br>50<br>5 | 5,08       | 4     | 30<br>50<br>20 | 5,73       | 5     | 30<br>50<br>20 | 5,75       | 3     | 30<br>50<br>20 | 6,10       | 7     | 70<br>10<br>20 | 7,1        | 7     | 60<br>0<br>40  | 8,40       | 10,5  | 10<br>0<br>90  | 8,10          | 14 | 10<br>0<br>90 |
| pjenjenje 34% | 1,8        | 23    | 90<br>10<br>0 | 3,3        | 19    | 80<br>20<br>0 | 4,20       | 4     | 70<br>30<br>0 | 5,10       | 5     | 70<br>30<br>0  | 5,3        | 3     | 70<br>30<br>0  | 5,5        | 4     | 55<br>45<br>0  | 5,8        | 3     | 95<br>5<br>0   | 7,5        | 9     | 30<br>40<br>30 | 7,10       | 20    | 70<br>0<br>100 | 7,40          | 15 | 0<br>0<br>100 |
| pjenjenje 56% | 2,02       | 22    | 90<br>10<br>0 | 3,90       | 4     | 50<br>50<br>0 | 4,5        | 6     | 40<br>60<br>0 | 4,80       | 6     | 30<br>70<br>0  | 5,13       | 7     | 45<br>55<br>0  | 5,54       | 7     | 45<br>50<br>5  | 5,5        | 9     | 45<br>50<br>5  | 7,4        | 6     | 20<br>10<br>70 | 7,35       | 8     | 10<br>5<br>85  | 7,8           | 6  | 10<br>5<br>85 |

$\tau$  = čvrstoća smicanja, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
 KL = kohezijski lom  
 AL = athezijski lom  
 LD = lom po drvu  
 V = koeficijent varijacije

Ispitivanje kod 20 °C

ČVRSTOĆA SPOJA KOD PRIMJENE KOMPAKTNOG I UPJENJENOG LJEPILA PRI RAZLICITIM TEMPERATURAMA

Tablica II.

|               | -20 °C     |       |               | ±0 °C      |       |               | 20 °C      |       |               | 50 °C      |       |               | 70 °C      |       |               | 90 °C      |       |               | 110 °C     |       |               |
|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|---------------|
|               | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      | $\tau$ MPa | V (%) | KL AL DL      |
| 706           | 7,13       | 12    | 0<br>100      | 7,54       | 14    | 0<br>100      | 8,40       | 10,5  | 10<br>0<br>90 | 3,25       | 12    | 60<br>40<br>0 | 2,70       | 11    | 70<br>30<br>0 | 1,98       | 13    | 90<br>10<br>0 | 1,64       | 9     | 100<br>0<br>0 |
| pjenjenje 34% | 6,14       | 8     | 0<br>0<br>100 | 8,2        | 15    | 0<br>0<br>100 | 7,10       | 20    | 0<br>0<br>100 | 3,5        | 7     | 25<br>75<br>0 | 2,18       | 12    | 70<br>30<br>0 | 2,0        | 3     | 90<br>10<br>0 | 1,90       | 9     | 100<br>0<br>0 |
| pjenjenje 56% | 7,30       | 14    | 0<br>0<br>100 | 7,84       | 12,5  | 0<br>0<br>100 | 7,35       | 8     | 10<br>5<br>85 | 3,35       | 7     | 20<br>80<br>0 | 2,52       | 10    | 30<br>70<br>0 | 1,90       | 9     | 70<br>30<br>0 | 1,82       | 7     | 80<br>20<br>0 |

$\tau$  = čvrstoća na smicanje, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
 KL = kohezijski lom  
 AL = athezijski lom  
 DL = lom po drvu  
 V = koeficijent varijacije

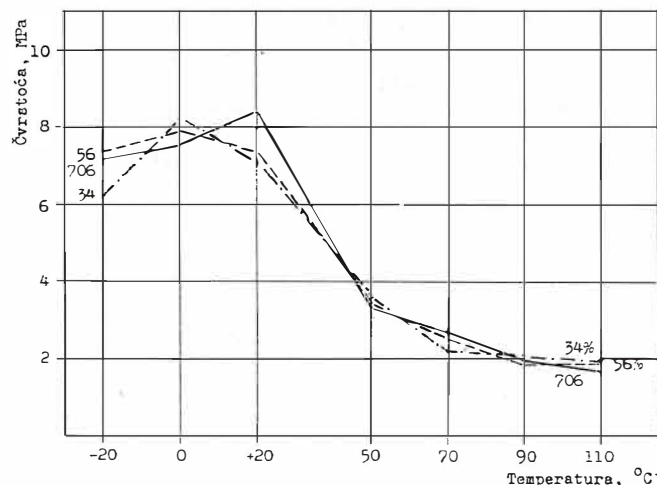
S obzirom na brzinu otvrdnjavanja, ustanovljene su signifikantne razlike između kompaktnog ljepila i upjenjenih ljepila. Nije ustanovljena signifikantna razlika između upjenjenih ljepila.

Maksimalna čvrstoća spoja s oba ljepila u vremenu 2 do 60 minuta ne pokazuje signifikantne razlike. Nakon 24 sata također nema signifikantnih razlika u čvrstoći spoja.

Iz tablice I. vidi se da i nakon 21 dan (500 h) čvrstoća ljepila pri 50 °C ostaje visoka i podjednaka za sve tri formulacije, uz velik udio loma po drvu.

Spojevi napravljeni kompaktnim i upjenjenim ljepilom ispitani su i pri različitim temperaturama i to od +110 °C do —20 °C. Rezultati tih pokusa dani su u tablici II. i na slici 14.

Rezultati pokazuju zadovoljavajuću čvrstoću spoja ostvarenog ljepilom smanjene gustoće.



Sl. 14 — Ovisnost čvrstoće spoja o temperaturi  
Fig. 14 Dependence of joint strength on temperature

ZAKLJUČAK

Provedena istraživanja upućuju na to da poliuretanska taljiva ljepila (PU-t) po nekim osobinama ne zaostaju za ljepilima na osnovi kopolimera etilena i vinilacetata (EVA), a druge su im osobine bolje, zbog čega znače korak naprijed u razvoju taljivih ljepila.

— U početnoj fazi pri višem sadržaju vode otvrdnjavanje je malo brže. Čvrstoće spojeva u kojima je sadržaj vode 8, 16 i 24% nakon osam sati i nakon pola godine potpuno su jednake.

— Poliuretanska taljiva ljepila pri lijepljenju na lakirane površine osiguravaju čvrstoću spoja u granicama od 1,5 do 5,5 MPa ovisno o vrsti ljepila i vrsti laka.

— Otvoreno vrijeme u granicama od 5 do 30 s utječe na čvrstoću spoja tako da je pri duljem otvorenom vremenu čvrstoća spoja malo manja.

— Pri priljublivanju tlak ne utječe na čvrstoću spoja u uvjetima eksperimenta.

— Povećanje čvrstoće spoja u toku otvrdnjavanja podjednako je za EVA ljepila i PU-t ljepila.

— U spojevima drvo—plastika postižu se čvrstoće u granicama od 1,5 do 5,5 MPa. Najmanja čvrstoća spoja postiže se polistirolom.

— U spojevima drvo—metal čvrstoća ovisi o temperaturi predgrijavanja metala, vrsti ljepila i vrsti materijala.

— Čvrstoća spoja drvo—drvo pri povišenim temperaturama veća u slučaju primjene PU-t ljepila nego pri upotrebi EVA ljepila, pa pri 100 °C iznosi oko 2 MPa. Pri sniženju temperature do —20 °C neznatno se smanjuje čvrstoća spoja ostvarenog objema vrstama ljepila. Starenjem spojeva drvo—PU-t ljepilo—drvo pri 50°C i u toku 500 sati nema smanjenja čvrstoće.

— Čvrstoća spoja rubna letvica od masivne bukovine—PU-t ljepilo—ploča iverica u granicama od —40 do +120 °C smanjuje se pri višim temperaturama, te pri 120 °C iznosi oko 1 MPa.

— Spojevi s PU-t ljepilima relativno dobro podnose različite tretmane vodom, parom i povišenom temperaturom.

— Upjenjivanjem PU-t ljepila postižu se znatne uštede ljepila, a ne gube se dobre karakteristike spoja.

LITERATURA

[1] Blomquist, R. F., i dr., Adhesive bonding of wood and other structural materials FPL Madison 1981.  
[2] Pizzi, A., Wood adhesives. New York — Basel 1983.  
[3] Edelberg, R., Feuchtigkeitsreaktive Hotmelts für neue Anwendungsbereiche. Adhäsion 33 (11) 1989, 14—16.  
[4] Eichhorn, F., Stockhausen, G., Technologische Untersuchungen zum Schmelzkleben von Kunststoff-Metall-Verbindungen Schweissen und Schneiden. 41 (4) 1987, 182—187.  
[5] Habenicht, G., Kleben. Berlin 1986.

Recenzent: prof. dr. S. Tkalec