

# Otpornost na promjenu temperature i trajnost taljivih ljepila

## TEMPERATURE RESISTANCE AND DURABILITY OF HOTMELTS

Željko Šonje dipl. inž.,  
Primjensko-tehnički odjel tvrtke Klebchemie,  
Weingarten, SRNJ  
Prof. dr. sc. Boris Ljuljka,  
Šumarski fakultet, Zagreb

UDK630\*824.81

Prispjelo: 09. 03. 1994.  
Prihvaćeno: 19. 05. 1994.

Izvorni znanstveni rad

### S a ž e t a k

U ovom su radu opisana istraživanja različitih vrsta taljivih ljepila, pri čemu je osobita pozornost pridana novijim vrstama taljivih ljepila s obzirom na njihovu primjenu u proizvodnji namještaja i drugih finalnih proizvoda. Razmatrana su ljepila izrađena na osnovi:

- etilenvinilacetata (EVA)
- poliamida (PA)
- poliuretana (PU)
- poliolefina (PO).

Provedena su komparativna istraživanja tih ljepila u odnosu prema njihovoj postojanosti na promjene temperature i klimatske utjecaje.

Veću otpornost prema svim navedenim promjenama pokazala su PO- ljepila i PU-ljepila, s tim da su u svim pokusima PU-ljepila bila najbolja.

Na niske temperature najneotpornija su EVA-ljepila.

Pod utjecajem trajne visoke temperature i cikličnih promjena znatno se smanjuje čvrstoća EVA-ljepila i PA-ljepila, pa je njihova primjena za namještaj izložen nepovoljnim uvjetima upitna.

**Ključne riječi:** taljiva ljepila, oblaganje rubova, otpornost na temperaturu, trajnost.

### S u m m a r y

The paper presents investigation of various types of hot melt adhesives, with emphasis on the application of the new types of hotmelts in furniture production and manufacturing of other final wood products. Investigation embraced adhesives on the following basis:

- ethylene/vinyl acetate (EVA)
- polyamide (PA)
- polyurethane (PU)
- polyolephine (PO).

The adhesives were comparatively tested for their resistance to changes of temperature and climatic conditions.

All the bond strength tests were performed on T-shaped shear samples (DIN/EN 204).

EVA, PA, PO and PU hot melt adhesives exhibit different characteristics under the conditions of

- temperature changes
- prolonged elevated temperature
- cyclic climatic changes.

PO and PU adhesives show greater resistance to all of the mentioned conditions, the PU adhesives proving the best in all the tests. EVA adhesives are least resistant to low temperatures. EVA and PA adhesives show significant decrease in strength with prolonged elevated temperature and cyclic climatic changes. Their use for the production of furniture that is to be exposed to adverse conditions is therefore disputable.

The experiment has been conducted on solid wood samples which had not been glued in the edgebanding machine. In practice, however, other materials, besides solid wood, are regularly applied. Therefore the affinity of the adhesive and other materials in specific technology should be further investigated.

**Key words:** hotmelts, edgebonding, heat resistance, durability.

### UVOD

Uporaba taljivih ljepila u obradi drva stalno se povećava od početka primjene tih materijala (1950-1960). Njihova češća primjena posljedica je uvođenja ploča iverica u konstrukcije finalnih proizvoda za koje se tražila prikladna metoda obrade rubova i fiksiranje aplikacija.

### Prednosti tih ljepila su:

- jednostavna primjena i brzi pomaci
- stvaranje tehnološki čvrstoga i trajnog spoja nekoliko sekundi nakon nanošenja ljepila
- ne opterećuju okolinu i ne gube supstancu pri otvrdnjavanju

- dobra adhezija u odnosu prema drvu i sintetičkim materijalima
- velike mogućnosti formulacije ljepila u zadovoljenju specifičnih zahtjeva
- prihvatljiva cijena.

Budući da je osnova postupka taljenje i otvrdnjavanje hlađenjem, većina ljepila su prikladni termoplasti čije temperature taljenja i otvrdnjavanja zadovoljavaju tehnološke potrebe i zahtjeve uporabe proizvoda, a pri njihovoj se temperaturi taljenja ne razgrađuje ljepilo. Samo se u nekih, istodobno s otvrdnjavanjem hlađenjem zbiva i kemijski proces otvrdnjavanja (reaktivna taljiva poliuretanska ljepila). Prikladni materijali za taljiva ljepila jesu (4, 5):

- kopolimeri etilena i vinilacetata, EVA
  - kopolimeri etilena i etilakrilata, EEA
  - poliakrilati
  - poliamidi, PA
  - poliolefini, PO
  - poliuretani, PU
  - poliesteri, PE.
- Ljepilo obično sadrži
- osnovno ljepilo (EVA, PA i dr.)
  - smole (osiguravaju koheziju, adheziju, elastičnost, nisku cijenu)
  - voskovi (osiguravaju otpornost na vodu, adheziju, nisku cijenu)
  - punila (smanjuju utezanje, povećavaju čvrstoću i postojanost, pojeftinjuju proizvod)
  - pomoćni materijali (za plastifikaciju, stabilizaciju).

Taljiva se ljepila osim u drvnoj industriji (za namještaj te proizvode za građevinarstvo) primjenjuju i u industriji kože i obuće, tekstilnoj i automobilske industriji, proizvodnji ambalaže i pakovanju te u knjigovestvu.

U drvnoj su se industriji u početku najčešće primjenjivala EVA- ljepila, a kasnije su uvedena ljepila PA i PU te, u posljednje vrijeme, i PO-ljepila. Unutar pojedinih vrsta ljepila postoje znatne razlike u ovisnosti njihovih svojstava o sastavu, no važno je poznavati svojstva pojedine vrste ljepila odnosno spojeva u uvjetima njihove uporabe.

Kemizam, opća svojstva i primjena ljepila opisani su u literaturi (4, 5). Opća svojstva EVA-ljepila i PA-ljepila u finalnoj obradi drva analizirana su u radovima 1, 2. i 3. Svojstva reaktivnih taljivih PU-ljepila kombiniranih s različitim materijalima kao modelima spoja finalnih proizvoda opisana su u radovima 6. i 8. U citiranim radovima i u drugim pregledanim radovima nisu provedena usporedna istraživanja čvrstoće i trajnosti spojeva slijepjenih ljepilima različitih vrsta kakva se danas primjenjuju u tehnologiji finalnih proizvoda, pa je upravo to bio cilj ovih istraživanja.

U ovom su radu opisana provedena istraživanja različitih vrsta taljivih ljepila, pri čemu je osobita pozornost usmjerena na novije vrste taljivih ljepila i njihovu primjenu u proizvodnji namještaja i drugih finalnih proizvoda. Razmatrana su ljepila na osnovi:

- etilenvinilacetata (EVA)\*

- poliamida (PA)
- poliuretana (PU)
- poliolefina (PO)

\* Sva su ljepila iz redovite proizvodnje tvrtke Klebchemie, Weingarten.

Obavljena su usporedna istraživanja tih ljepila u odnosu prema njihovoj postojanosti na promjene temperature i klimatske utjecaje.

Sva ispitivanja čvrstoće spoja provedena su na križnim ("T") uzorcima smicanjem. (Detaljnije o metodi v. u literaturi 6, 8.)

Karakteristike uzoraka i njihove obrade bile su sljedeće: (Characteristics of the samples and their preparation are)

- bukovina debljine 5 mm (solid beech-wood, 5 mm thick), sadržaj vode (moisture content)  $10 \pm 2\%$ ,
- površina lijepljenja (glueing surface)  $20 \times 20 = 400 \text{ mm}^2$
- tlak (pressure) 0,9 MPa, trajanje (applied for) 5 s,
- nanešena količina (glue spread) 150 do 180  $\text{g/m}^2$
- temperatura prešanja (Pressing temperature):

PU	+160°C
PO	+210°C
PA	+200°C
EVA	+210°C

- brzina smicanja na vlak: (test speed) 50 mm/min (DIN/EN 204)

- broj uzoraka za svaku veličinu (Nr of samples per test): 8.

Budući da je osim čvrstoće spoja za procjenu samog spoja bitan i izgled loma, za svaki je uzorak određen tip i postotni udio loma. Ustanovljena su tri tipa loma:

- adhezijski lom; lom na granici ljepila i sljubnice
- kohezijski lom; granica loma ide ljepilom
- drvni lom; granica loma ide drvom.

## ISPITIVANJE POSTOJANOSTI NA PROMJENU TEMPERATURE

Pri tom ispitivanju skupine od osam uzoraka zagrijavane su odnosno hlađene u trajanju jednog sata pri temperaturama (°C) (exposure temperature; exposures for 1 hour prior to immediate testing): -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 i 80 °C.

Nakon temperiranja uzoraka mjerena je čvrstoća, i to tako da je od trenutka vađenja iz uređaja za klimatizaciju do naprezanja na smicanje proteklo najviše 5 s, pri čemu se promjenila temperatura na površini uzorka.

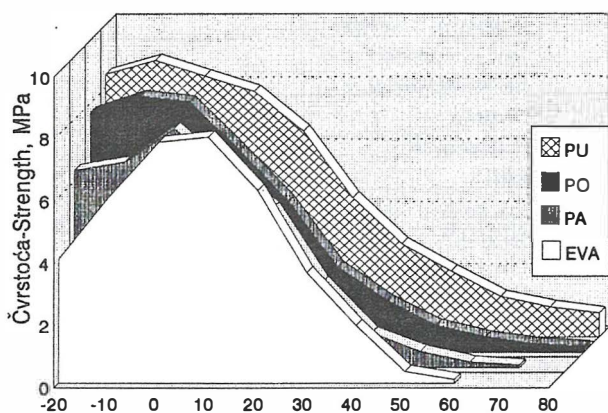
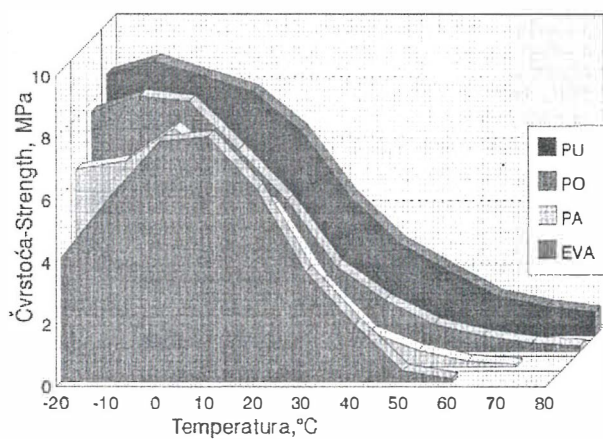
Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 1. i na slikama 1, 2, 3, 4. i 5. Na slici 1. prikazana je čvrstoća ispitivanih ljepila u ovisnosti o temperaturi. Vidi se da najveću čvrstoću u širokom području temperatura ima PU-ljepilo, zatim PO-ljepilo, PA-ljepilo i EVA-ljepilo. Pri temperaturama od 10 do 40 °C EVA-ljepilo ima veću čvrstoću od PA-ljepila i PO-ljepila, no izvan tog područja čvrstoća mu je manja. Najvišu čvrstoću pri visokim temperaturama pokazalo je PU-ljepilo, a odmah iza njega PO-ljepilo.

UTJECAJ TEMPERATURE NA ČVRSTOĆU SPOJA  
INFLUENCE OF TEMPERATURE ON BOND STRENGTH

Tablica 1.

Table 1

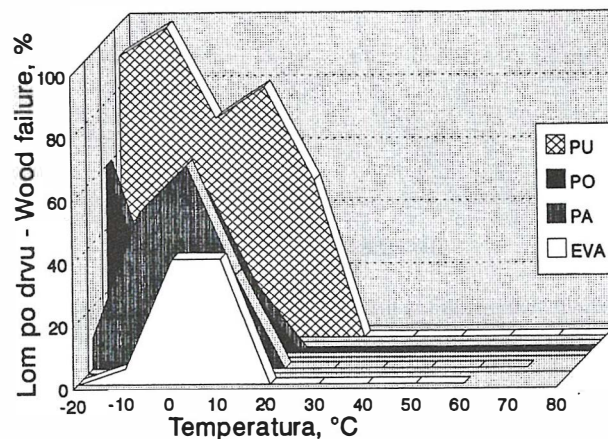
Temperatura, °C (Temperature)	Ljepila (Adhesive)			
	EVA	PA	PO	PU
	Čvrstoća (Strength) MPa			
-20	4,01	6,35	7,70	8,43
-10	6,00	6,62	8,23	8,88
-	7,75	7,69	8,05	8,38
10	7,91	6,37	6,48	7,89
20	6,21	5,15	4,86	6,61
30	3,57	2,75	2,75	4,48
40	1,87	1,13	1,66	3,00
50	0,38	0,54	0,88	2,12
60	0,12	0,19	0,51	1,30
70	-	0,09	0,28	0,97
80	-	-	0,19	0,77



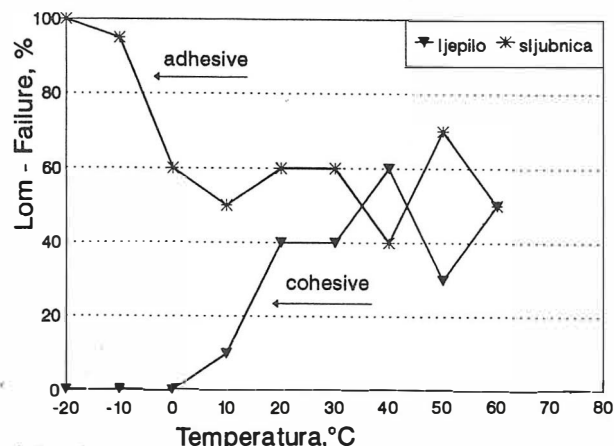
Slika 1. Utjecaj temperature na čvrstoću spoja  
Fig. 1 Influence of temperature on bond strength

Ispitane uzorke možemo promatrati kao lanac od pet karika: drvo-sljubnica-ljepilo-sljubnica-drvo. Analizom udjela loma po pojedinoj karici možemo izvesti određene zaključke. Na slici 2. prikazan je udio loma po drvu. Pri analizi te slike treba imati na umu činjenicu da se čvrstoća drva pri temperaturama od -20 do +80 °C sman-

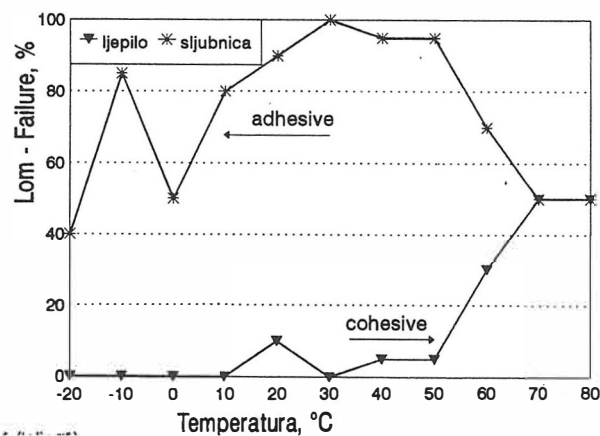
juje za približno 50% (9). Kako upravo u području temperatura od -20 do +20 °C u svih ljepila opažamo najviše lomova po drvu, očito je da je u tom temperaturnom području iznimno velika čvrstoća ostalih karika lanca.



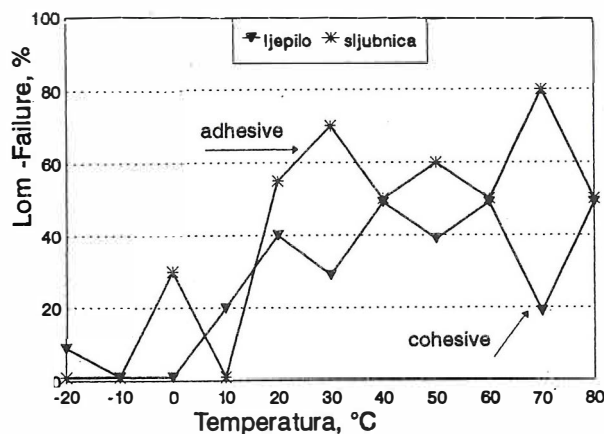
Slika 2. Utjecaj temperature na postotni udio loma po drvu  
Fig. 2 Influence of temperature on wood failure



Slika 3. Adhezijski i kohezijski lom u spojevima s EVA-ljepilom  
Fig. 3 Adhesive and cohesive failure of the EVA adhesive



Slika 4. Adhezijski i kohezijski lom u spojevima s PO-ljepilom  
Fig. 4 Adhesive and cohesive failure of the PO adhesive



Slika 5. Adhezijski i kohezijski lom u spojevima s PU-ljepilom  
Fig. 5 Adhesive and cohesive failure of the PU adhesive

Pogledamo li udio loma po sljubnici i ljepilu za PO, PU i EVA ljepila (sl. 3, 4. i 5), uočiti ćemo da su za PU-ljepila čvrstoća samog ljepila i adhezijske veze pri svim temperaturama podjednako čvrste. Za PO-ljepila uočen je visok udio loma po sljubnici, sve do 60 °C, a tek pri višim temperaturama udio loma po ljepilu se povećao. Čvrstoća spoja s PO-ljepilom vjerojatno bi se mogla poboljšati jačanjem te karike lanca (adhezija). Udio loma po sljubnici u spojevima načinjenim EVA-ljepilom pri niskim temperaturama (poznata je osjetljivost adhezijske veze tih ljepila na niske temperature) i pri porastu temperature smanjuje se. Rezultati ispitivanja PA-ljepila pokazali su velik rasap pa je zaključak bio nemoguć.

#### ISPITIVANJE POSTOJANOSTI NA KLIMATSKE UTJECAJE

U ovom dijelu istraživanja uzorci su dugo izlagani povišenoj temperaturi i cikličnim laboratorijskim klimatskim utjecajima. Početne vrijednosti ustanovljene su nakon sedmodnevnog stajanja uzoraka u sobnoj klimi (20 °C/65%).

Dugotrajni utjecaj povišene temperature ispitan je tako da su uzorci stajali 21 dan (500 sati) na temperaturi 50 °C i relativnoj vlazi zraka od 30%.

Ciklični laboratorijski klimatski utjecaji ostvareni su prema sljedećoj shemi:

klima 1 (20 °C i 65% relativne vlage zraka);	1 sat
klima 2 (70 °C i 95% relativne vlage zraka);	5 sati
klima 3 (-10 °C);	5 sati
klima 4 (40 °C i 30% relativne vlage zraka);	4 sata.

Da bi se postigli navedeni klimatski uvjeti bila su potrebna odgovarajuća međuvremena, pa je jedan ciklus (klima 1 do klima 4) ukupno trajao 24 sata. Svi uzorci se skupine tretirani su u sedam ciklusa (7 dana).

Uzorci obiju skupina (trajno i ciklično izlaganje) ostavljeni su nakon tretmana 24 sata u sobnoj klimi, nakon čega je ispitivana njihova čvrstoća. Rezultati ispitivanja početne čvrstoće i čvrstoće nakon cikličnog i trajnog izlaganja prikazani su u tablici 2.

UTJECAJ POVIŠENE TEMPERATURE I  
CIKLIČNIHPROMJENA NA POSTOJANOST  
SPOJA  
INFLUENCE OF ELEVATED TEMPERATURE  
AND CYCLIC CLIMATIC CHANGES ON THE  
DURABILITY OF THE BOND

Tablica 2.

Table 2

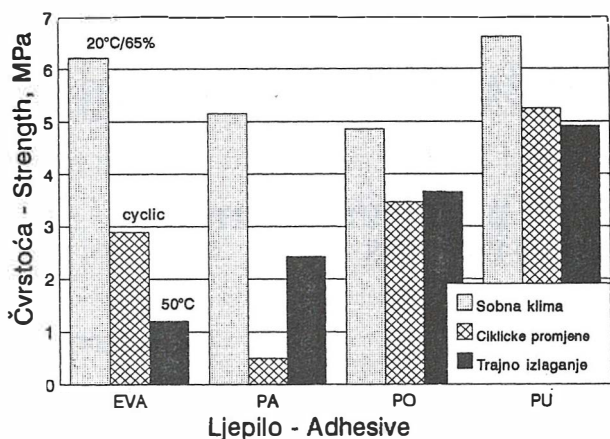
Ljepilo (Adhesive)	Svo jstvo (Property)	Tretiranje (Treatment)		
		Sobna klima (Room conditions)	Cikličke promjene (Cyclic climatic changes)	Trajno izlaganje (Permanent exposure)
EVA	čvrstoća (strength), MPa	6,21	2,89	1,20
	s,MPa	0,14	0,40	0,30
	lom po drvu (wood failure),%	0	0	0
	lom po ljepilu (cohesive failure),%	40	10	0
	lom po sljubnici (adhesive failure),%	60	90	100
PA	čvrstoća (strength),MPa	5,15	0,50	2,43
	s,MPa	0,31	0,09	0,15
	lom po drvu (wood failure),%	0	0	0
	lom po ljepilu (cohesive failure),%	5	5	80
	lom po sljubnici (adhesive failure),%	95	95	20
PO	čvrstoća (strength), MPa	4,86	3,46	3,66
	s,MPa	0,07	0,32	0,18
	lom po drvu (wood failure),%	0	0	0
	lom po ljepilu (cohesive failure),%	10	30	20
	lom po sljubnici (adhesive failure),%	90	70	80
PU	čvrstoća (strength),MPa	6,61	5,25	4,92
	s,MPa	0,50	0,26	0,25
	lom po drvu (wood failure),%	5	15	20
	lom po ljepilu (cohesive failure),%	40	75	10
	lom po sljubnici (adhesive failure),%	55	10	70

U tablici su predočene čvrstoće spoja za ljepila iz opsega istraživanja, standardne devijacije kao mjera rasapa podataka čvrstoće te udio loma po drvu, ljepilu i sljubnici.

Čvrstoće spoja prikazane su i na slici 6, na kojoj se dobro vidi da su ljepila EVA i PA osjetljiva na dugotrajnije utjecaje povišene temperature i na ciklične klimatske promjene, pri čemu je EVA-ljepilo osjetljivije na trajno izlaganje povišenoj temperaturi pa mu se čvrstoća znatno smanjuje (sa 6,21 na 1,20 MPa). Suprotno tome,

PA-ljepilo jače reagira na ciklične promjene te mu je smanjenje čvrstoće (sa 5,15 na 0,50 MPa) zbog utjecaja cikličnih promjena izrazito veliko.

adhezivnosti PO-ljepila još više poboljšala njihova svojstva.



Slika 6. Otpornost taljivih ljepljiva na povišenu temperaturu i ciklične promjene

Fig. 6 Resistance of hot melt adhesives to elevated temperature and cyclic climatic changes

Oba tretmana ljepljiva PO i PU ne uzrokuju veće promjene (maksimalno 25 do 30%) i spoj zadrži zadovoljavajuću čvrstoću. I pritom se opaža visoka čvrstoća i postojanost PU-ljepljiva. Uzmemo li u obzir uvjete u kojima se slijepljeni rubovi nalaze tijekom uporabe drvenih proizvoda, možemo očekivati obje pojave (dugotrajno povišenje temperature u elementima blizu štednjaka ili na namještaju koji se u kontejnerima transportira u vrućem podneblju, te ciklične promjene na radnim pločama i elementima između štednjaka i sudopera, i sl.). Stoga pri odabiru i primjeni pojedinih ljepljiva treba biti vrlo pažljiv.

Veličine standardnih devijacija govore u prilog tome da rasipanja rezultata čvrstoće nisu suviše velika (u pokusima s ljepljivima ona su obično velika), što omogućuje odgovarajuću pouzdanost zaključaka.

Lom po drvu (najčvršća karika) zabilježen je samo u PU-ljepljiva, što je još jedan dokaz njihove kvalitete.

Trajni utjecaji temperature i ciklične promjene uzrokuju smanjenje adhezijske sposobnosti ljepljiva u spoju, i to najviše EVA-ljepljiva (lom po sljubnici prosječno 95%), zatim PO-ljepljiva (lom po sljubnici prosječno 75%) te PA-ljepljiva (lom po sljubnici prosječno 57%). Dakle, vidi se da bi se poboljšanjem

## ZAKLJUČAK

1. Taljiva ljepljiva EVA, PA, PO i PU pokazuju različita svojstva kad su izložena ovim utjecajima:
  - promjeni temperature
  - dugotrajnoj povišenoj temperaturi
  - cikličnim klimatskim promjenama.
2. Veću otpornost prema svim navedenim promjenama pokazuju PO-ljepljiva i PU-ljepljiva, s tim da su u svim pokusima PU-ljepljiva pokazala najbolja svojstva.
3. Na niske temperature najneotpornija su EVA-ljepljiva.
4. Pod utjecajem trajne visoke temperature i cikličnih promjena znatno se smanjuje čvrstoća spojeva s EVA-ljepljivom i PA-ljepljivom. Stoga pri promjeni tih ljepljiva za izradu namještaja izloženog nepovoljnim uvjetima to svakako treba uzeti u obzir.
5. Ispitivanja su provedena na uzorcima od masivnog drva koji nisu slijepljeni u stroju za oblaganje rubova, no u praksi se gotovo po pravilu uz masivno drvo upotrebljavaju i drugi materijali pa je odnose ljepljiva, ostalih materijala i specifične tehnologije potrebno još istraživati.

## LITERATURA

- [1] Kovačević, V. i dr., Toplotaljiva ljepljiva, (rukopis 1-145), Zagreb, 1991.
- [2] Ljuljka, B. i Šonje, Ž., Čvrstoća lijepljenja laminata na pločastim elementima namještaja, "Drvna ind." 29, br. 1-2, Zagreb 1978, str. 31-32.
- [3] Ljuljka, B., Lijepljenje u tehnologiji finalnih proizvoda, (udžbenik), Zagreb, 1978.
- [4] Ljuljka B. i Šonje Ž., Istraživanje tehnoloških i mehaničkih svojstava reaktivnih poliuretanskih taljivih ljepljiva, "Drvna ind.", 41, br. 9-10, Zagreb, 1990, str. 163-169.
- [5] Minford, J.D., Treatise adhesion and adhesives, vol. 7, New York, 1991
- [6] Pizzi, A., Wood adhesives, vol. 2, New York, 1989
- [7] Šonje, Ž., Untersuchungen über die Festigkeiten von Verklebungen mit reaktiven PUR-Schmelzklebstoffen, Holz als Roh u. Werkstoff, 50, str. 401-406.
- [8] Zeppenfeld, G., Klebstoffe in der Holz-und Möbelindustrie, Leipzig, 1991.
- [9] Wood handbook, F.P.L., U.S., 1974