

Komparativno ispitivanje čvrstoće i trajnosti slijepljenih spojeva u proizvodima za građevinarstvo*

Ivica Grbac, dipl. ing.
Zlatko Purgar, dipl. ing.
Andrija Bogner, dipl. ing.
prof. dr mr Boris Ljuljka
Šumarski fakultet Zagreb

UDK 634.0.824.7:634.0.812.7

Znanstveni rad

Primljeno: 6. travnja 1981.

Prihvaćeno: 3. lipnja 1981.

Sažetak

U ovom radu obrađena je problematika ispitivanja čvrstoće i trajnosti slijepljenih spojeva u proizvodima za građevinarstvo. Autori su nastojali što više se približiti realnim uvjetima u proizvodnji prozora i na taj način istražena je čvrstoća ugaonog spoja prozorskih krila, promjena čvrstoće, tj. trajnost u upotrebi, te utjecaj sistema površinske obrade.

Na temelju izvršenih istraživanja zaključeno je da su rezultati utjecaja zazora u određenim rasponima u skladu s istraživanjima Iljinskog, da veću čvrstoću spoja pokazuje rezorcinsko u odnosu na PVA vodootporno ljepilo, isto tako površinska obrada pigmentiziranim lakom u odnosu na lazuru.

Ključne riječi: čvrstoća i trajnost slijepljenog spoja — površinska obrada — sila loma — točnost obrade — izlaganje vremenskim utjecajima.

COMPARATIVE TESTING OF FIRMNESS AND DURABILITY OF GLUED JOINTS IN PRODUCTS OF BUILDING TRADE

Summary

The article works on problems of testing firmness and durability of glued joints in products of building trade. Authors tried to come as near as possible to real conditions in window production and in this respect they tested the firmness of corner joint of the window sashes, changes in firmness, i.e. durability in use and the influence of surface finishing system.

On the basis of carried out testing it has been concluded that the results of clearance influences comply to a certain extent with the researches made by Iljinski, that better joints are obtained by resinous glues than by PVA waterproof glues and by pigmented lacquer surface finishing than by wood dye.

Key words: firmness and durability of glued joints — surface finishing — breaking strength — accuracy of finishing — exposure to weather conditions.

(A. M.)

* Rad je izrađen na šumarskom fakultetu u okviru podprojekta ISTRAŽIVANJE NA PODRUČJU TEHNOLOGIJE PROIZVODA IZ DRVA ZA GRAĐEVINARSTVO, koji financira SIZ-IV i Opće udruženje šumarstva, prerade drva i prometa SRH, Zagreb.

1.0 UVOD

Problematika ispitivanja čvrstoće slijepljenih spojeva veoma je složena i gotovo nikada nismo u potpunosti zadovoljni s postignutim rezultatima.

Poteškoća je u tome što se za ispitivanje moraju upotrijebiti uzorci iz drva, i to one vrste čija nas čvrstoća spoja interesira. Međutim, lom spoja dolazi u cijelosti ili djelomice po drvu, zbog čega čvrstoća lijepljenja ostaje manje ili više nepoznata. Ova se činjenica obično zanemaruje, i iz rezultata ispitivanja računa se prosječna čvrstoća slijepljenog spoja. Ova postavka je donekle prihvatljiva ako se razmatra čvrstoća spoja sistema: vrsta drva — ljepilo — vrsta drva. Ako se pak analizira ljepilo, jedino se može tvrditi da je čvrstoća lijepljenja jednaka ili veća od dobivenog rezultata. Kod ispitivanja čvrstoće lijepljenja metala toga problema nema, jer do loma dolazi po ljepilu.

Upotreba dobivene vrijednosti aritmetičke sredine, bez područja rasipanja rezultata, netočna je. Naime, aritmetička sredina predstavlja neku vrijednost za čvrstoću spoja, a samo oko 50% uzoraka postiže tu ili višu čvrstoću, dok preostali uzorci imaju nižu čvrstoću. Za koliko nižu se ne zna ako je rasipanje rezultata nepoznato.

Slijepljeni uzorci i njihova destrukcija predstavljaju model slijepljenog proizvoda u uvjetima eksploatacije. Veoma često kod ispitivanja čvrstoće spoja slijepljeni uzorak predstavlja veoma loš model. Smjer žice drva obično je u oba slijepljena elementa paralelan, što je u praksi veoma rijetko. Duljina preklopa iznosi 10 do 20 mm, a u praksi su dimenzije sljubnice obično veće. Kako dimenzije sljubnice imaju veliki utjecaj na čvrstoću spoja, dobivene rezultate treba korigirati.

Mehanička obrada sljubnice trebala bi biti kod uzorka jednaka onoj u pogonu. Obično su uzorci finije obrađeni, što utječe na rezultate. Debljina sloja ljepila trebala bi biti jednaka onoj u praktičnim uvjetima.

Ispitivanje se najčešće vrši postepenim povećanjem opterećenja (naprezanja), ograničenog trajanja, dok ne dođe do loma. U stvarnim uvjetima eksploatacije, naprezanja su veoma raznolika i uglavnom trajnijeg karaktera.

Vlaga drva kod ispitivanja uglavnom je ujednačena, a uzorak se klimatizira ili navlažuje po čitavom presjeku. U stvarnim uvjetima eksploatacije vlaga je neujednačena, i njeno djelovanje je znatno dulje. Ovdje su navedeni neki problemi ispitivanja čvrstoće spoja koje bi ukratko mogli svesti na probleme vezane uz svojstva drva; — probleme vezane uz netočnost modela proizvoda i uvjete eksploatacije; — probleme vezane uz netočnost obračuna i interpretacije rezultata ispitivanja.

2.0 ZADATAK ISTRAŽIVANJA

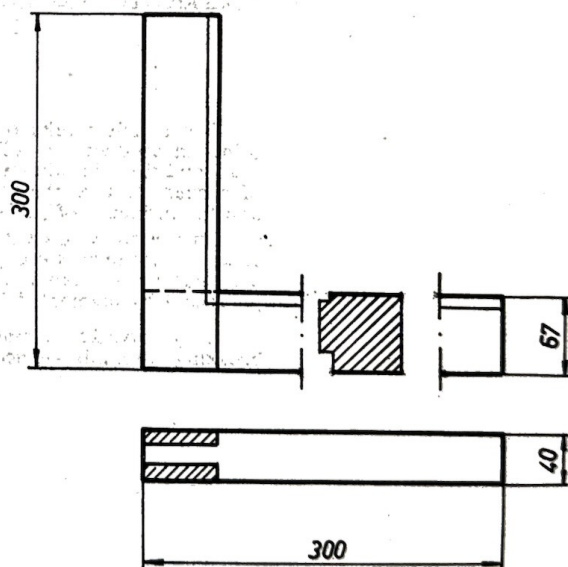
U proizvodnji prozorskih krila, za njihovo lijepljenje, danas se upotrebljavaju tzv. vodootporna PVA ljepila. Radi se o PVA ljepilima čija se otpornost povećava posebnim dodacima. Imajući u vidu uvjete eksploatacije prozora, bilo je zanimljivo istražiti:

- čvrstoću spoja slijepljenog PVA vodootpornim ljepilom;
- promjenu čvrstoće spoja (trajnost) u toku upotrebe;
- utjecaj sistema površinske obrade (lazurama ili pigmentiranim lakom) na čvrstoću i trajnost spoja;
- komparativno istražiti sve navedene karakteristike i za rezorcinsko ljepilo kao tipično vodootporno ljepilo.

3.0 IZRADA UZORAKA

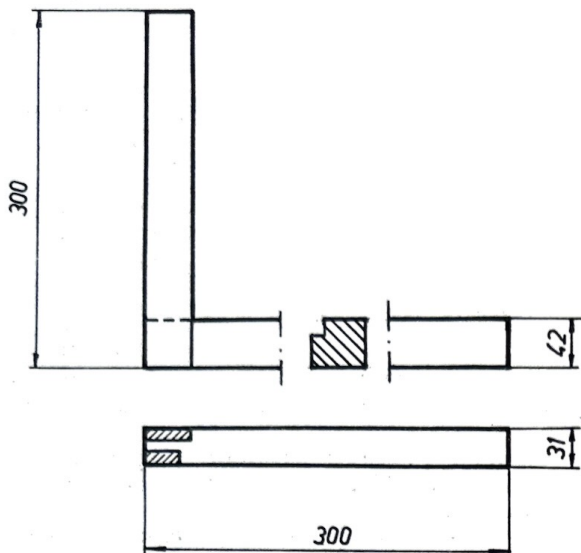
3.1. Mehanička obrada i lijepljenje

Radi veće istovjetnosti ispitivanih modela prema stvarnom modelu, istraživanja su vršena na uglovima prozorskih krila (sistem krilo na krilo). Uzorci iz jelovine izrađeni su u redovnoj proizvodnji*. Na taj je način postignuto još veće približenje realnim uvjetima. Na slici 1 i 2 prikazani su uzorci vanjskog i unutarnjeg krila uz stupanj obradenosti kod kojeg se vrši lijepljenje. Vlažnost



Sl. 1 — Unutarnje krilo

Fig. 1 — Interior sash



Sl. 2 — Vanjsko krilo
Fig. 2 — Exterior sash

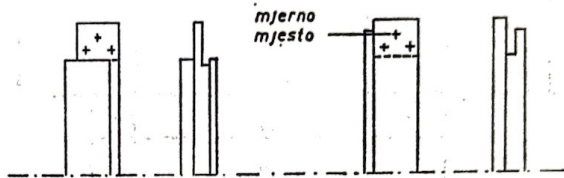
drva iznosila je 10—12%. Temperatura u pogonu u toku prve i druge smjene bila je 16—22°C. Uzorci su izrađeni u proizvodnji prozora, i to spoj čep-raskol.

Da bi se ispitivao i utjecaj dosjeda spoja čep-raskol, izmjerena je na tri mjesta debljina čepova i širina svih raskola prema slici 3, te je izvršeno grupiranje prema veličinama dosjeda. Na taj su način dobivene kombinacije uzoraka koje su prikazane u tablici I.

ljepilo. Da se ustanovi da li je podjela izvršena pravilno, provedena je statistička analiza koja je potvrdila pretpostavku, osim u III. grupi zazora unutrašnjeg krila.

Termin zazor upotrijebljen je zbog toga što je u svim slučajevima prosječna debljina čepa bila manja od prosječne širine raskola.

Nakon razvrstavanja izvršeno je lijepljenje uzoraka. Temperatura prostorija iznosila je 26°C, relativna vlaga zraka 78%. Uzorci za određivanje vlažnosti uzeti su metodom slučajnih brojeva. Prosječna vlažnost u uzorku sa čepom iznosila je 11,68%, a u uzorku s raskolom 10,55%. Mjerenja vlažnosti izvršena su električnim vlagomjerom. Polovina uzoraka slijepljena je PVA ljepljivom »MEKOL« — Sežana. Takvo ljepljivo upotrebljavaju proizvođači prozora, dok je druga polovina uzoraka, radi komparacije, slijepljena tipičnim vodootpornim rezorcinskim ljepljivom.



Sl. 3 — Mjerna mjesta na čepu i raskolu
Fig. 3 — Measuring points on tenon and mortise

Karakteristike ljepljiva:

Dvokomponentno vodootporno PVA ljepljivo za građevnu stolariju

Tehničke karakteristike:

A komponenta — specijalno ljepljivo na osnovi PVAc disperzije bijele boje. Viskozitet po Brook-

GRUPIRANJE UZORAKA PREMA VELICINAMA DOSJEDA, LJEPLIVU I POVRŠINSKOJ OBRADI

Tablica I

Ljepilo	Uzorci slijepljeni PVA ljepljivom		Uzorci slijepljeni rezorcinskim ljepljivom	
	Lazura	Pigmentirani lak	Lazura	Pigmentirani lak
Površinska obrada				
dosjedi	5 grupa dosjeda	5 grupa dosjeda	5 grupa dosjeda	5 grupa dosjeda

Uzorci su grupirani prema slijedećim veličinama zazora, pri čemu se zazor obračunavao na temelju razlika srednjih vrijednosti debljina čepa i pripadajućih raskola.

Vanjsko krilo	Unutarnje krilo
I 0,08 — 0,20	I 0,0 — 0,09
II 0,21 — 0,32	II 0,10 — 0,18
III 0,33 — 0,44	III 0,19 — 0,27
IV 0,45 — 0,56	IV 0,28 — 0,36
V 0,57 — 0,68	V 0,37 — 0,45

Uzorci iz svake grupe zazora podijeljeni su u dvije skupine, i to za PVA ljepljivo i rezorcinsko

fieldu 20°C; 15000—20000 mPas. Suha supstanca min 48%.

B komponenta — otvrdivač plave boje. Omjer u težinskim dijelovima A:B = 20:1. Postojanost mješavine najmanje 24 sata. Nanosi se ručno ili strojno 120—200 g/m².

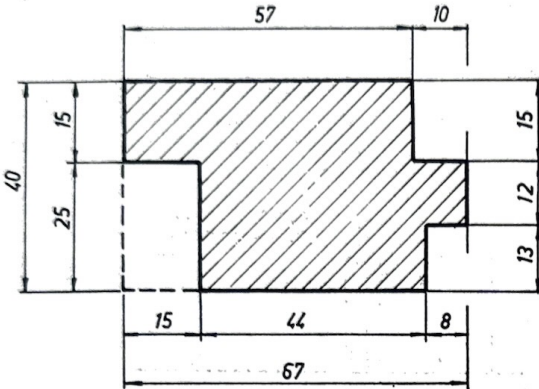
Rezorcinsko ljepljivo RF + katalizator K-2, proizvođač CHROMOS — Zagreb.

Sastav ljepljiva — vodena otopina rezorzin-formaldehidne smole.

Karakteristike: Sadržaj suhe tvari 60±2%. Viskozitet po Fordu br. 4/20°C 120"—150". Omjer mješanja s katalizatorom 5:1. Nanos se kreće od

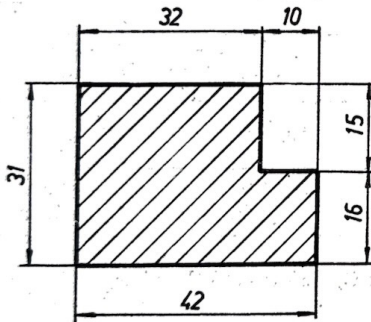
0,200 do 0,350 kg/m² obostrano, što znači potrošnju od oko 0,45 kg/m².

U našem ispitivanju ljepljeno je na sljubnice nanašano kistom, i to: PVA ljepljeno jednostrano, tj. samo na čep, budući da se radi o mekom drvu, u količini 0,130 kg/m²; rezorcinsko ljepljeno nanašano je obostrano, tj. na čep i raskol u količini cca 0,45 kg/m². U skladu s uputama proizvođača, lijepljenje je vršeno isto onako kako se vrši u tehnologiji proizvodnje prozora.



Sl. 4 — Unutarnje krilo — konačni profil
Fig. 4 — Interior sash — definitive profile

Nakon klimatiziranja od 14 dana, na uzorcima unutarnjih krila izrađeni su poluutori s vanjske strane, analogno tehnološkom procesu proizvodnje krila prozora, vidi sliku 4. Vanjska krila obrađena su nakon lijepljenja s vanjske strane tako da se izravna spoj, vidi sliku 5.



Sl. 5 — Vanjsko krilo — konačni profil
Fig. 5 — Exterior sash — definitive profile

3.2. Površinska obrada uzoraka

Površinska obrada uzoraka izvršena je u industrijskim uvjetima*. Na polovinu uzoraka nanesen je bijeli pigmentirani lak, a na drugu polovinu lazura. Karakteristike materijala za površinsku obradu i način nanašanja opisani su u nastavku.

Za površinsku obradu pigmentiranim lakom upotrijebljen je slijedeći sistem CHROMOS — Zagreb:

Materijal	Viskozitet 4 DIN 53211/ /20°C	Suha supstanca %	Sjaj po Lange-u %
Impregnacija	11"	19—20	—
Temelj	80—100"	74—77	—
Lak polumat	100—120"	60—64	35—40

Lak je nanešen u 4 sloja u skladu s tehnologijom površinske obrade u navedenom pogonu:

1 sloj — impregnacija + temelj u omjeru 4:1; nanašanje uranjanjem; prirodno sušenje 12 sati.

2 sloj — temelj; nanašanje uranjanjem; prirodno sušenje 12 sati; ručno brušenje brusnim papirom br. 150.

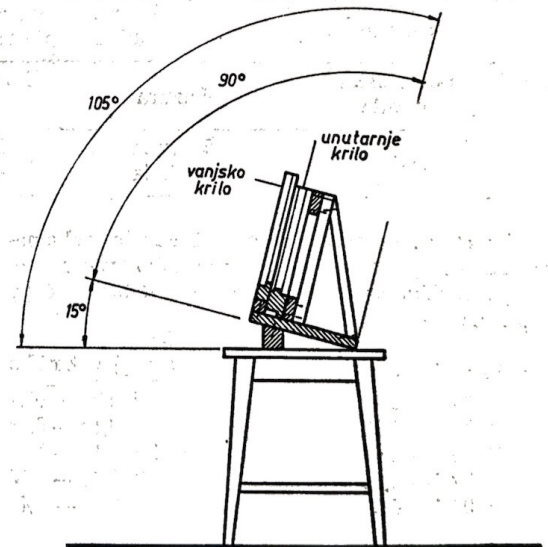
3 sloj — temelj; nanašanje špricanjem (bezračno); sušenje u sušionici 3 sata; ručno brušenje brusnim papirom br. 150.

4 sloj — završni lak; nanašanje špricanjem (bezračno); sušenje u sušionici 3 sata.

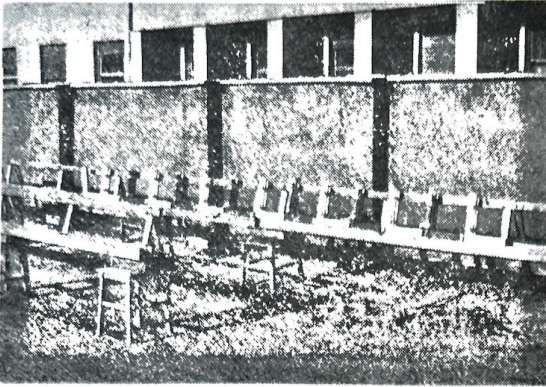
Za površinsku obradu lazurama upotrijebljeni su slijedeći materijali i postupci: Lazura u palisander tonu nanešena je kistom u 3 sloja s 2 međubrušenja. Sušenje u sušionici iza svakog nanošenja trajalo je 2,5 sata. Tim sistemom površinske obrade dobivene su grupe uzoraka prema tablici I.

4.0. IZLAGANJE UZORAKA

— Uzorci su međusobno povezani (krilo na krilo) i vanjskim krilom orijentirani prema jugu pod ku-



Sl. 6 — Izlaganje uzoraka vanjskim utjecajima
Fig. 6 — Exposure of samples to out of door conditions



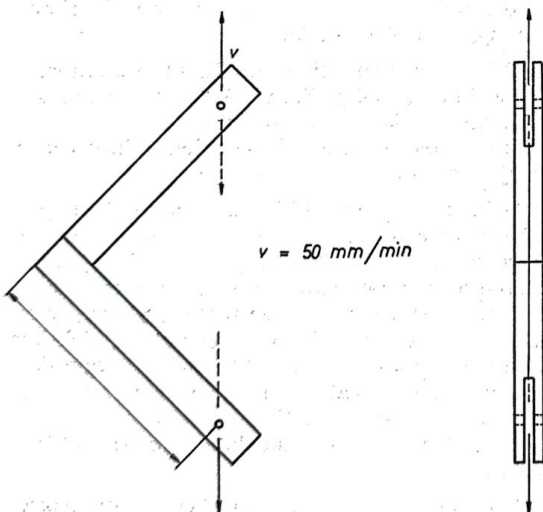
Sl. 7 — Vremenska stanica
Fig. 7 — Weather station

tom prema horizontali od 105° (vidi slike 6 i 7). Ispitivanje sile loma (čvrstoće spoja) vršeno je nakon:

- 0 mjeseci izlaganja,
- 2,5 mjeseca izlaganja, (01. 12. 79. — 15. 02. 80.),
- 9,0 mjeseci izlaganja, (01. 12. 79. — 01. 09. 80.),
- 13 mjeseci izlaganja, (01. 12. 79. — 01. 01. 81.).

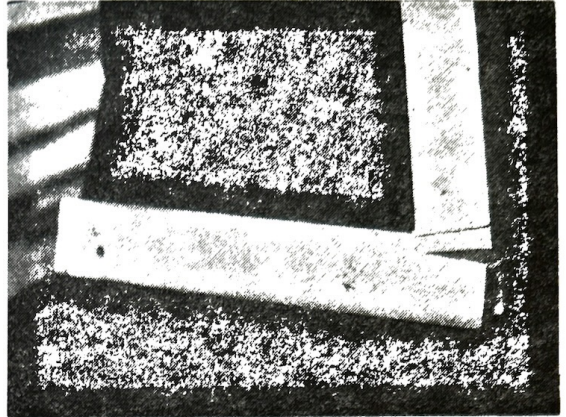
5.0 ISPITIVANJE

Ispitivanja uzoraka vršeno je u Institutu za drvo i šumarskom fakultetu u Zagrebu. Ispitivanja ovakvih uzoraka mogu se vršiti principijelno tlačnim ili vlačnim opterećenjem. U tu svrhu izrađeni su posebni uređaji i izvršeno prethodno ispitivanje prema shemi na slici 8. Ta ispitivanja su pokazala da daleko bolje rezultate daje, opterećenjem izaz-

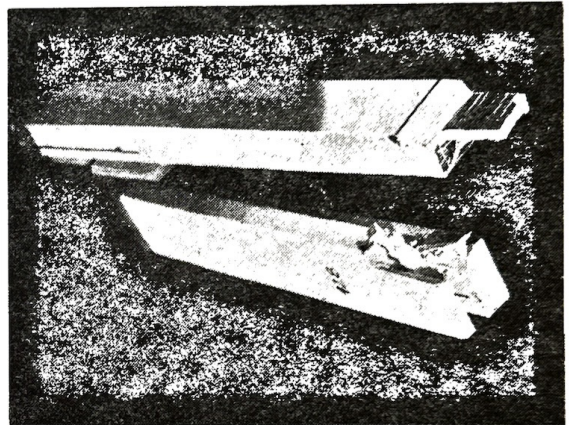


Sl. 8 — Shema ispitivanja uzoraka kod vlačnih i tlačnih sila
Fig. 8 — Scheme of testing samples for tensile and compression strength

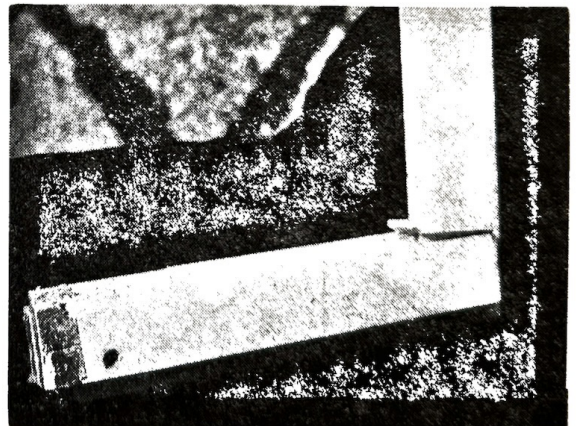
vano, vlačno naprezanje, što se vidi na fotografijama. Usporedbe slika 9 i 10 (tlak), 11 i 12 (vlak) ukazuju na prednost vlačnog ispitivanja. Kod tlač-



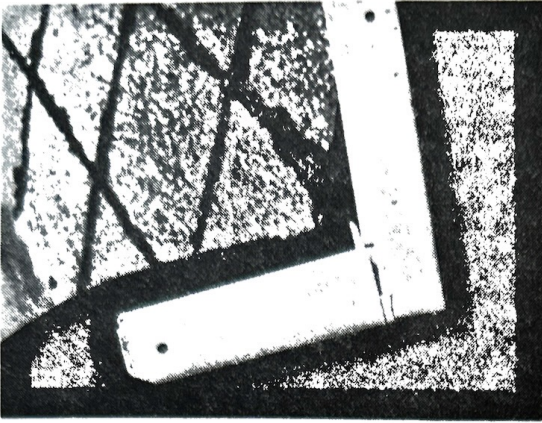
Sl. 9 — Lom kod ispitivanja na tlak
Fig. 9 — Breakages in pressure testing



Sl. 10 — Lom kod ispitivanja na tlak
Fig. 10 — Breakages in pressure testing



Sl. 11 — Lom kod ispitivanja na vlak
Fig. 11 — Breakages in tension testing



Sl. 12 — Lom kod ispitivanja na vlak
Fig. 12 — Breakages in tension testing

nog ispitivanja do loma dolazi izvan sljubnica, tako da na rezultate u velikoj mjeri utječu svojstva drva oko spoja. Kod vlačnog ispitivanja destrukcija se uglavnom događaju u spoju.

6.0 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

6.1. Točnost obrade čepova i raskola

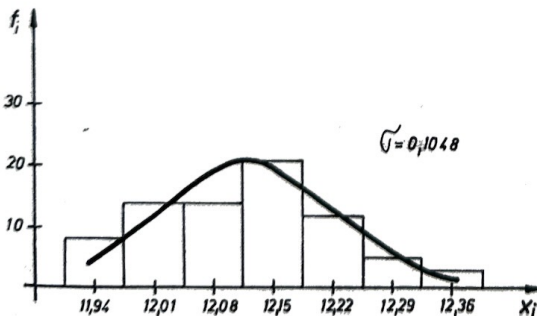
Budući da se radi o obradi čepova i raskola u industrijskim uvjetima, bilo je interesantno ustanoviti kolika je točnost kod obrade. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici II.

TOCNOŠĆ OBRADÉ

Tablica II

	Unutarnje krilo		Vanjsko krilo	
	Čep	Raskol	Čep	Raskol
\bar{x}	11,9675	12,1190	7,9000	8,1880
σ	0,1342	0,1048	0,1378	0,1140

Za čepove i raskole izračunate su srednje vrijednosti i standardne devijacije. Na temelju ovih podataka mogu se izračunati polja rasipanja. Da



Sl. 13 — Širina raskola — unutarnje krilo
Fig. 13 — Width of mortise — interior sash

se utvrdi usklađenost dobivenih podataka s normalnom distribucijom, nacrtani su grafički prikazi od kojih je jedan primjer prikazan na slici 13.

6.2. Utjecaj veličine zazora na silu loma

Mada su uzorci fino razvrstani prema veličina ma zazora, vidjelo se da zazori u granicama od 0,08—0,68 za vanjska krila, odnosno 0,0—0,45 za unutarnja krila, ne pokazuju bitan utjecaj na čvrstoću spoja bez obzira na trajanje izlaganja.

Napravljen je pokušaj statističke analize usporbom veličina sile loma kod zazora od 0,0—0,18 mm sa zazorima od 0,18—0,45 mm, odnosno od 0,08—0,32 mm sa zazorima 0,32—0,68 mm za vanjsko i unutarnje krilo.

Komparacija je izvršena u početnom periodu izlaganja, te nakon prosječnog izlaganja od 11 mjeseci za PVA i rezorcinsko ljepilo. Vidi shemu u tablici III.

HEMA ANALIZE UTJECAJA VELICINE ZAZORA NA SILU LOMA

Tablica III

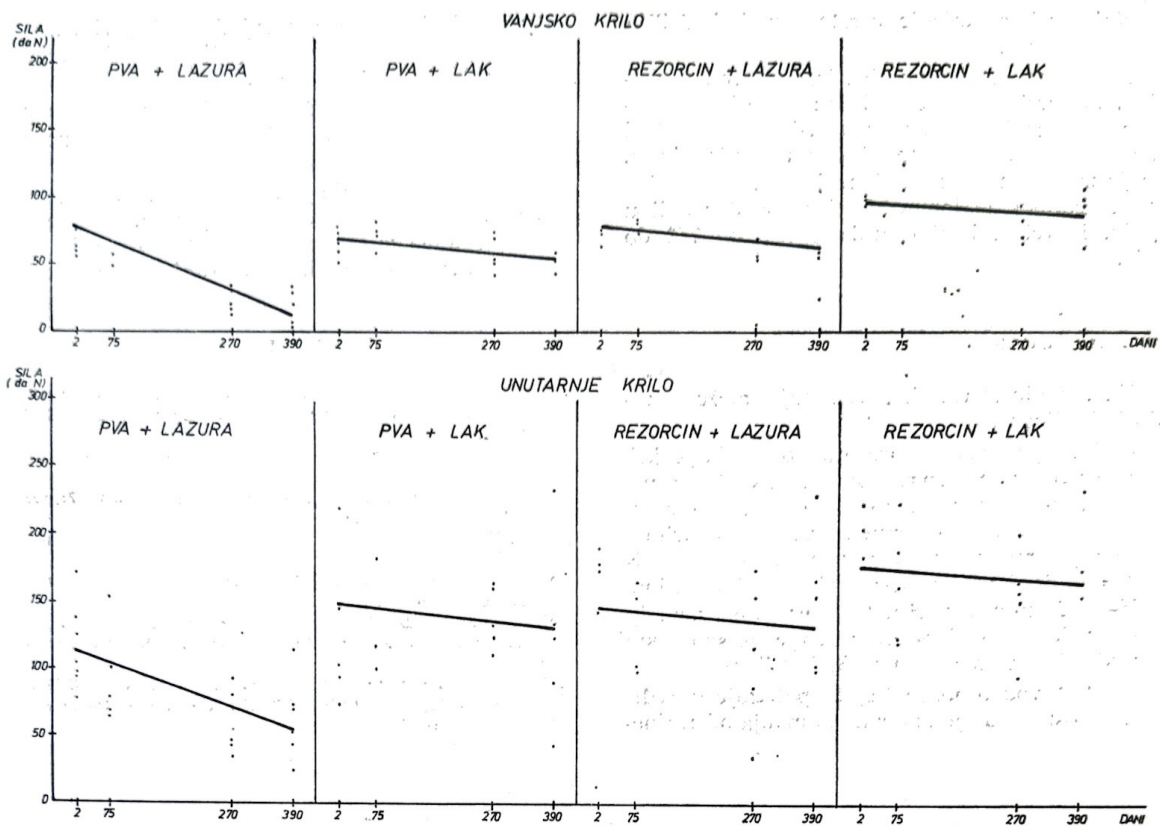
	Unutarnje krilo		Vanjsko krilo	
	Početak izlaganja	11 mjeseci izlaganja	Početak izlaganja	11 mjeseci izlaganja
Rezorcinsko ljepilo	0,0—0,18	0,18—0,45	0,08—0,32	0,32—0,68
PVA ljepilo	0,0—0,18	0,18—0,45	0,08—0,32	0,32—0,68

Uz pogrešku I vrste od 1%, ni u jednom slučaju nije bilo signifikantne razlike između dviju veličina zazora kod vanjskog i unutarnjeg krila, kako u početku starenja tako i nakon 11 mjeseci starenja kod oba ljepila.

Ovi su se rezultati očekivali. Prema istraživanjima Iljinskog, S. A. [4], maksimalna sila loma kod spoja čep-raskol nalazi se u području zazora od oko 0,2 mm. Povećanjem odono smanjenjem zazora sila se umanjuje.

Osim toga, prema Iljinskog, S. A., u području zazora od 0,0 do 0,6 mm razlika u silama loma iznosi oko 8%. Zbog toga je i u slučaju kada je sredina bila pomaknuta na 0,32 mm bilo nemoguće ustanoviti tako male razlike. S druge strane, prema istraživanjima istog autora, debljina sloja rezorcinskog ljepila 0,10 mm i 0,60 mm dala je istu čvrstoću. Tako se i u ovim rezultatima istraživanja odrazila relativna neosjetljivost rezorcinskog ljepila na debljinu sloja, odnosno veličinu zazora.

Prema ovim istraživanjima, slično rezorcinskom ponaša se i PVA vodootporno ljepilo. Za daljnji uvid u ovu problematiku bila bi potrebna zasebna istraživanja.



Sl. 14 — Ovisnost sile loma o trajanju izlaganja
Fig. 14 — Dependence of breaking on exposure duration

6.3. Utjecaj trajanja izlaganja, vrste ljepila i površinske obrade na čvrstoću spoja (veličinu sile kod loma)

Osnovni zadatak ovih istraživanja bio je da se ustanovi u kojoj mjeri PVA vodootporno ljepilo može dati trajne spojeve kada su oni izloženi vanjskim utjecajima.

Rezultati istraživanja ovog problema sažeto su prikazani u tablici IV. Za analizu tih rezultata treba naglasiti da je kod ispitivanja na unutarnjim krilima bilo veće rasipanje, odnosno veći broj lomova izvan spoja. Zbog toga se može tvrditi da su podaci dobiveni kod ispitivanja vanjskih krila pouzdaniji.

Uz pomoć linearne regresije istražena je ovisnost sile kod loma o trajanju izlaganja. Rezultati su prikazani na slici 14. Na slici je vidljivo da PVA vodootporno ljepilo pokazuje određeni stupanj otpornosti na vanjske utjecaje, ali zaostaje za tipičnim vodoopornim rezorcinskim ljepilom po čvrstoći spoja i po trajnosti.

Površinska obrada također ima stanovit utjecaj na trajnost i čvrstoću spoja. Iz slike 14 vidljiv je taj odnos za lazuru i lak, gdje površinska obrada lakom pokazuje veću trajnost.

TRAJNOST SPOJEVA NA VANJSKE UTJECAJE

Tablica IV

Uzorci	Trajanje izlaganja, mjeseci			
	0	2,5	9	13
	Prosječna sila kod loma, daN			
Vanjsko krilo PVA pigmentirani lak	66,5	72,7	57,6	49,6
Vanjsko krilo rezorcinsko pigmentirani lak	94,7	95,5	76,25	91
Vanjsko krilo PVA lazura	62,8	64,7	19,25	18,2
Vanjsko krilo rezorcinsko lazura	74,4	78,0	67,25	66,8
Unutarnje krilo PVA pigmentirani lak	128,0	175,5	139,2	126,8
Unutarnje krilo rezorcinsko pigmentirani lak	203,0	163,6	153,4	182,25
Unutarnje krilo PVA lazura	126,4	90,7	55,83	68,8
Unutarnje krilo rezorcinsko lazura	171,2	124,6	132,5	184

Najveće je smanjenje čvrstoće spoja kod PVA ljepila i lazure.

Na osnovu statističke obrade, a posebno koeficijentna korelacije, dobiveni su rezultati koji ukazuju da je stohastička veza između varijabli kod vanjskog krila veća nego kod unutarnjeg krila. To je zbog ranije opisanih razloga, tj. premalog broja uzoraka, te lomova koji su se događali u spoju. Potreban broj uzoraka iznosi od 772 do 1346.

7.0 ZAKLJUČAK

Na temelju izvršenih istraživanja, može se zaključiti slijedeće:

— Kod proizvodnje prozora konstrukcije krilo na krilo, uz vez čep-raskol, u industrijskim uvjetima u navedenom pogonu, zazor se kreću u rasponima 0,0 do 0,45 mm za unutarnje krilo i 0,08 do 0,68 mm za vanjsko krilo, kod čega je točnost obrade izražena standardnom devijacijom 0,105—0,138 mm. Zazori u tim rasponima nemaju bitnog utjecaja na čvrstoću slijepljenog spoja, što je u skladu s istraživanjima S. A. Iljinskog.

— PVA vodootporno ljepilo pokazuje određenu trajnost, mada je ona znatno manja od trajno-

sti rezorcinskog ljepila u uvjetima eksperimenta. Početna čvrstoća rezorcinskog ljepila veća je od početne čvrstoće PVA ljepila.

— Površinska obrada ima utjecaj na čvrstoću slijepljenog spoja. Lak daje veću čvrstoću spoju u usporedbi s lazurou.

— Ova istraživanja prilog su sagledavanju problematike čvrstoće i trajnosti slijepljenih spojeva u proizvodima za građevinarstvo. Ona ukazuju na potrebne trendove daljih istraživanja na tom području.

LITERATURA

- [1] MUTIBARIC, J.: Zamena drveta čamovine sa drvetom nekih vrsta topole i vrbe u proizvodnji kućnog namještaja, Novi Sad 1968.
- [2] LJULJKA, B.: Površinska obrada drva i drvnih materijala, Zagreb 1980.
- [3] LJULJKA, B.: Tehnologija proizvodnje namještaja, Zagreb 1977.
- [4] ILJINSKI, S. A.: Dopuski i posadki v derevoobrabotke. Moskva 1968.
- [5] ILJINSKI, S. A. i KISLYJ, V. V.: Tehničeskij kontrolj v mebelnoj promyšlennosti. Moskva 1980.
- [6] SCHALL, W.: Die Eignung von Leimen verschiedener Art für die Herstellung von Fensterecken. Holz- und Kunststoffverarbeitung 11/77.
- [7] * * * : Prospektni materijal »MEKOL« — Sežana, »CHROMOS« — Zagreb i »REICHHOLD CHEMIE AG« — Offenbach.
- [8] * * * : JUS D.E.8. 234.