

Ispitivanje čvrstoće spojeva zaobljenim čepom

STRENGTH TEST ON ROUND TENON JOINTS

Prof. dr. **Stjepan Tkalec**
Šumarski fakultet — Zagreb

Izvorni znanstveni rad

Prispjelo: 4. prosinca 1989.
Prihvaćeno: 20. siječnja 1990.

UDK 630*824.8:836.1

Sažetak

U radu se obrađuje čvrstoća lijepljenja ugaonih spojeva drva tvrdih listaća tehnikom spajanja zaobljenim (ovalnim) čepom u podužnoj rupi. Eksperimentom je obuhvaćeno 5 uzoraka, koji su izvedeni tehnikom natiskivanja i brazdanja sljubnica. Ispitivani su statičkim opterećenjem na izvlačenje i momentom sile. Rezultati pokazuju da postoji veza između oblika i velične natisnutosti i obrade čepa, čvrstoće spoja, izražene posmičnim narezanjem, ako se promatra u okviru relativno malih odstupanja zadora.

Primjena rezultata važna je u konstruiranju namještaja i proizvoda za građevinarstvo, te u daljem razvoju diskurzivnih metoda u konstruiranju.

KLjučne riječi: drvene konstrukcije — spajanje čepovima — natiskivanje čepova — čvrstoća lijepljenja.

Summary

The paper deals with the strength of glued corner joints performed on hardwoods by joining by round tenon in longitudinal hole. Five samples have been covered by these tests carried out by technique of pressing into and grooving of joints. The samples have been tested by static pull-out load and moment of power.

The results indicate that there is a link between the shape and the extent of pressing into and the manufacture of the tenon, joint strength expressed by shearing stress, if examined within a relatively small gap deviation. The above results are important when applied in designing of furniture and products used in construction industry and in further development of discursive methods in wood constructing.

Key words: wood frames — joining by tenons — pressing into of tenons — strength of gluing (V.K.)

1. UVOD

Istraživanje lijepljenih konstrukcija namještaja provodi se radi optimiziranja konstrukcijskih rješenja s aspekta racionalnog iskorišćivanja drva i drvnih materijala, te njihova oplemenjivanja u smislu podizanja kvalitete gotovih proizvoda.

Primjena dosjeda i tolerancija, određivanje i provođenje točnosti obrade konstrukcijskih spojeva i tehnologije lijepljenja, ističe se kao neophodna potreba svake suvremene proizvodnje namještaja.

Suvremena tehnološka oprema, koja omogućava veliku točnost obrade, upravo zahtijeva primjenu novih metoda rada, od konstruiranja putem računala do primjene diskurzivnih metoda u stvaranju software-a s proračunskim i grafičkim podacima za neposredno izvođenje.

Rezultati ovog rada prilog su dosadašnjim istraživanjima iz područja konstrukcije namještaja, a posebno stolica i stolova, gdje se traže spojevi zaobljenim i plosnatim čepovima velike izdržljivosti na statička i dinamička opterećenja.

2. PROBLEMATIKA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Čvrstoća lijepljenih konstrukcija ovisi o dvije skupine karakteristika koje se odnose na materijal koji se lijepi, odnosno na adheziv, to su:

- geometrijske i fizičko-mehaničke karakteristike konstrukcijskih dijelova koji se spajaju;
- fizičko-mehanička i kemijska svojstva ljepljiva te tehnologija njihove primjene.

Problematikom spajanja zaobljenim ili ovalnim čepovima bavilo se do sada više istraživača. U njihovim je radovima obrađivana problematika dimenzioniranja čepova, utjecaja duljine i širine čepa na čvrstoću spoja, utjecaj položaja godova i promjene vlažnosti na čvrstoću spoja, te utjecaj vrste dosjeda odnosno veličine zadora ili zadora na čvrstoću lijepljenja.

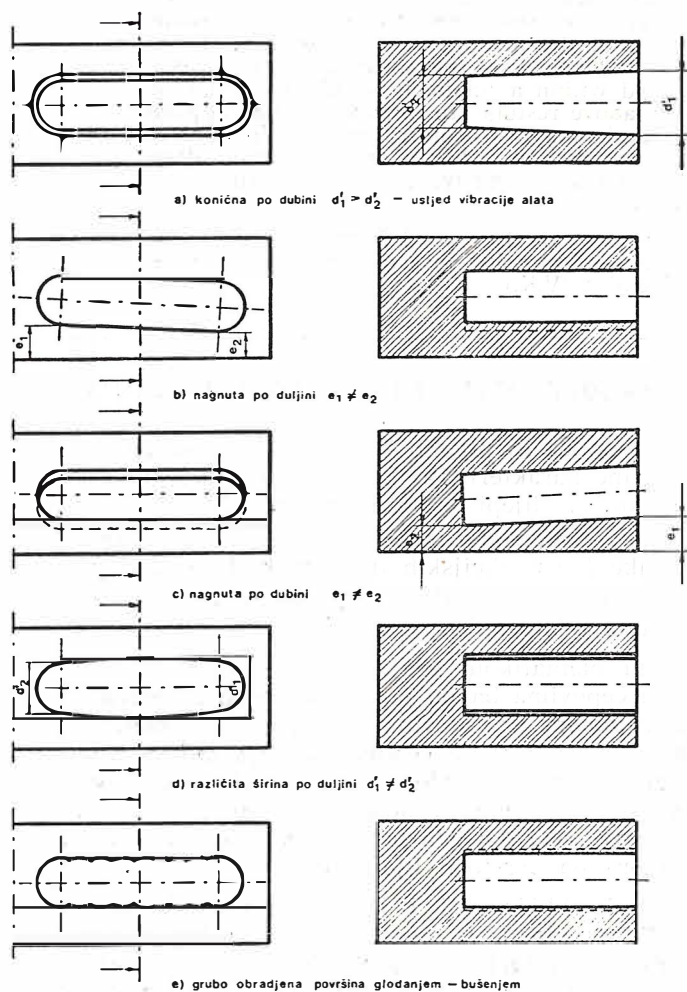
S.A. Iljinski i B. Skopal [1] razmotrili su jednadžbu ravnoteže između čvrstoće na smicanje ulijepljenih spojnih elemenata sa sljubnicama gdje su vlakanca međusobno okomita i paralelna. Ovdje se spominje i podatak da natisnani moždanici pokazuju do 40% veću čvrstoću u odnosu na nenatisnute moždanike.

J. Kamenický [2] je ispitivao elastičnost spojeva zaobljenim čepom, te je zaključio da elastičnost spoja djelovanjem momenta sile u ravni T-spoja naglo opada u rasponu širine čepa 10...20 mm, a zatim se pad elastičnosti usporava, te je kod širine 60 mm vrlo malen.

Čepovi iste površine sljubnice daju spojeve različite čvrstoće s obzirom na duljinu i širinu čepa.

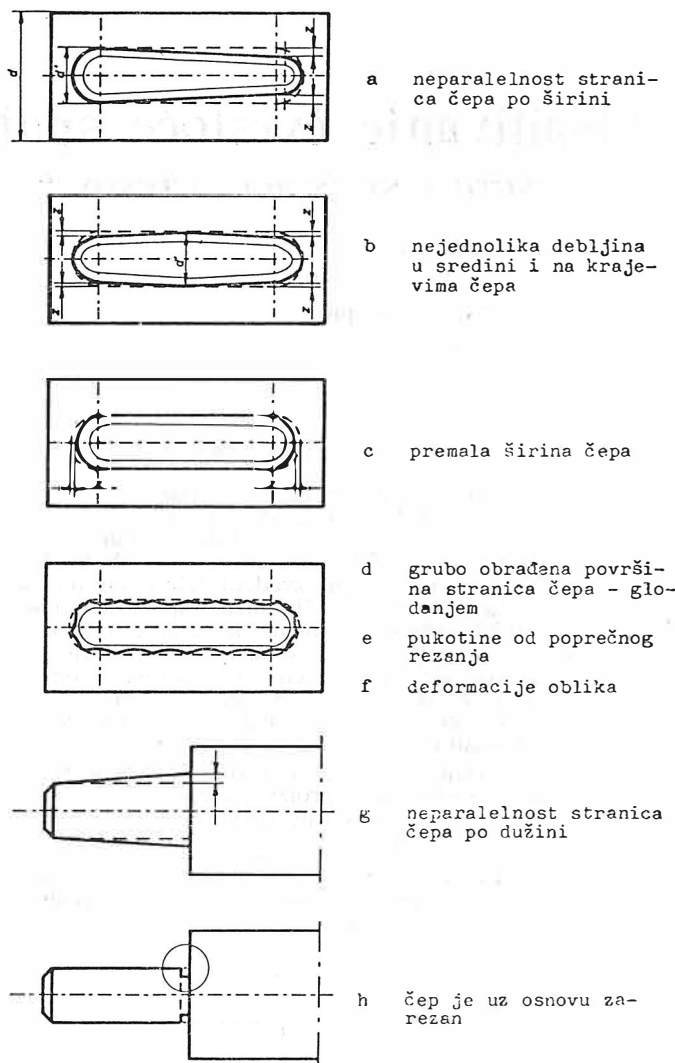
S. Dziejielewski [3] u svom radu ispituje ugaone spojeve zaobljenim čepom i njihovu izdržljivost na dinamička opterećenja. On je utvrdio da se, nakon dinamičkih opterećenja, znatno smanjuje krutost spoja, tj. umanjuje se čvrstoća na smicanje, čemu je uzrok destrukcija spoja uz sljubnice.

U svom radu A.M. Korzeniovski [4] istražuje metode poboljšavanja svojstava spojeva zaobljenim čepom. On smatra da ljepilo doprinosi čvrstoći spoja od 85%, a ostala bitna svojstva su: vrsta drva, vlažnost i specifični pritisak pri kojem se vrši lijepljenje. Navode se i istraživanja A.F. Rybskog, koji je utvrdio da su



Slika 1. Greške oblika i dimenzija podužne rupe uzrokovane pri obradi na viševretnoj oscilirajućoj bušilici

Fig. 1. Form and dimension defect of longitudinal holes caused in manufacture on multispindle oscillating boring machine



Slika 2. Netočnosti izrade kod zaobljenog čepa uzrokovane pri obradi na čeparici zaobljenih čepova

Fig. 2. Imprecision in manufacture of round tenons caused in manufacture on tenoning machine for round tenons

najveća opterećenja podnijeli spojevi gdje je zador po širini čepa iznosio 0,3...0,7 mm, a po debljini 0,1...0,2 mm.

B. Skopal [5] usmjerio je svoja istraživanja na određivanje optimalnog dosjeda pri spajanju zaobljenim čepom. Eksperimentalno je utvrdio kod spojeva od bukovine da su maksimalne sile loma postizane kod zadora 0,2...0,3 mm, te utvrđuje da je optimalni zador 0,3 mm s grančnim naprezanjima za PVAc ljepilo 1406 N/cm².

U ovom radu se prvi puta uz rezultate prezentira i točnost obrade s načinom dosjedanja, tj. veličinama zadora ili zadora.

S. Tkalec [6] na osnovi svojih istraživanja utvrđuje optimalnu natisnutost za zaobljene — ovalne čepove od bukovine, lijepljene PVAc ljepilom. Najveću čvrstoću pokazali su spojevi kod vlažnosti 8...9%, kod zadora natisnutog čepa —0,01...—0,06 mm, gdje je natisnutost po de-

bljini iznosila $n = 0,434 \pm 0,1$ mm. Kako je opseg ovih istraživanja proširen, tj. povećan je broj mjerenja, to će se u ovom radu dati dodatna tumačenja dobivenih rezultata. Ovo je jedan od prvih radova koji razmatra utjecaj natisnutosti i značenje tehnike natiskivanja radi poboljšanja lijepljenja okruglih i plosnatih čepova, iako je tehnika natiskivanja odavno poznata, posebno u proizvodnji stolica. Tijekom provedbe eksperimenta analizirane su netočnosti obrade na otvorima i čepovima koje su prikazane na slikama 1. i 2.

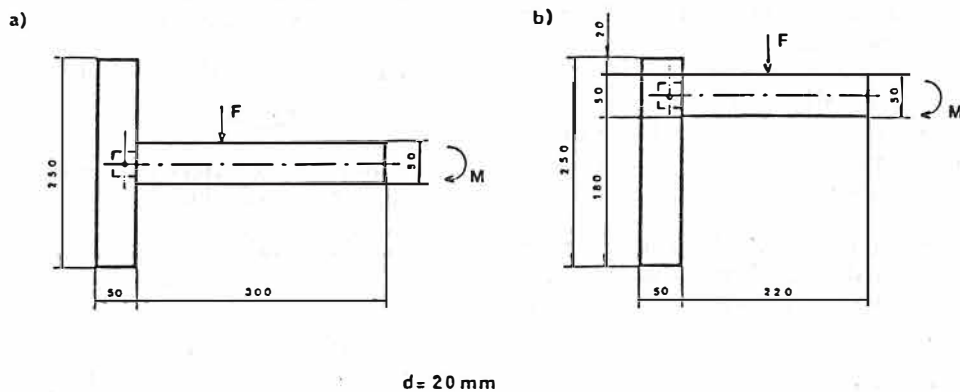
J. Kudela i J. Dubovski [7] na osnovi svojih istraživanja ispitivali su veličine promjena dimenzija kod čepa i otvora u uvjetima raznih sadržaja vlage bukovine i smrekovine. Najbolja stabilnost spoja dobije se kada su čep i otvor radijalno postavljeni u odnosu na ravninu sljubnice, tj. sržni trakovi su okomiti na sljubnice.

Ispitivanje čvrstoće lijepljenih natisnutih spojeva u ovom radu ima kao cilj iznalaženje optimalnog raspona natisnutosti, kod kojeg se postižu najveće čvrstoće na statička i dinamička opterećenja. Zadatak istraživanja odnosi se i na pravilnu upotrebu čeparica i strojeva za natiskivanje u smislu točnosti obrade, koja također znatno utječe na čvrstoću lijepljenih spojeva.

3. PRIKAZ METODE RADA

Uzorci za ispitivanje

U radu je primijenjena kombinacija diskurzivno-matematičke i diskurzivno-aplikativne indirektno metode u konstruiranju modela, odnosno njegovoj realizaciji. Za ispitivanje su izrađeni L i T oblici ugaonog spoja stolica, sastavljeni zaobljenim čepom i podužnom rupom (Slika 3).

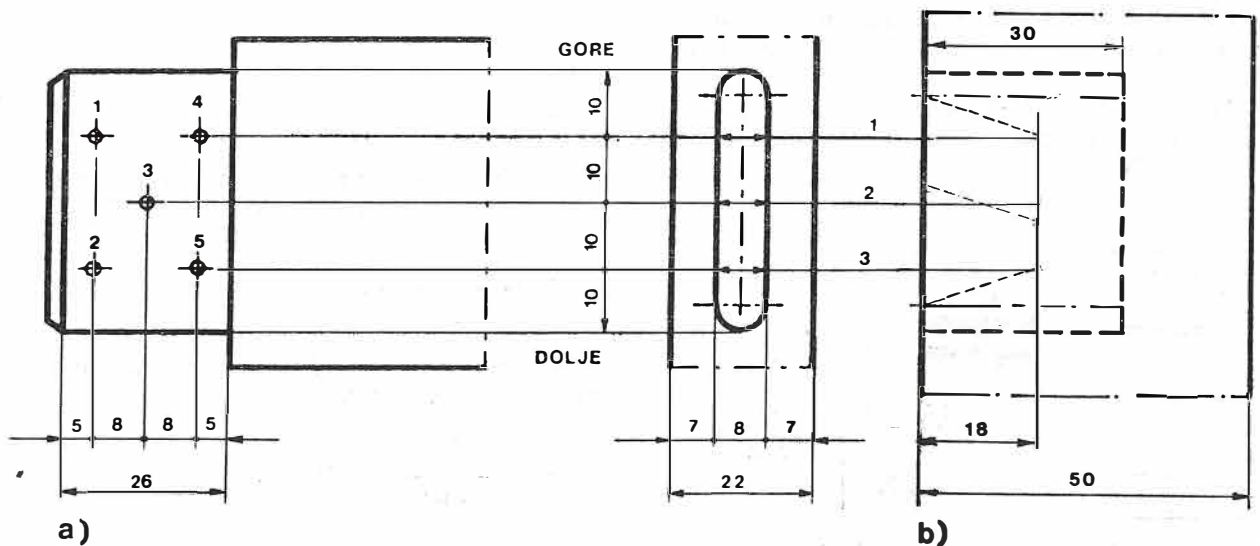


Slika 3. Uzorci za prethodna ispitivanja

a) T-oblici, b) L-oblici

Fig. 3. Samples for preliminary testing

a) T-shape, b) L-shape



Slika 4. Mjerna mjesta debljine: a) čepa i b) visine rupe

Fig. 4. Measuring points for thickness: a) for tenon and b) for hole height

Uzorci su izrađeni od bukovine (*Fagus sylvatica* L.) sadržaja vlage 8,3 ... 11,7%, koja je izmjerena električnim vlagomjerom. Razliku vlage uvjetovali su postojeći pogonski uvjeti u kojima je izrađen eksperiment.

Bušenje podužnih rupa izvršeno je na oscilujućoj horizontalnoj bušilici, a po izmjeri otvora planirane su veličine natisnutosti za pet uzoraka. Tada su izvedeni čepovi na čeparici zaobljenih čepova. Oblik i dimenzije čepa i mjerna mjesta prikazani su na slici 4.

Izmjere visina otvora i debljina čepova vršene su promjerkom s pokaznim satom i vijčanim mikrometrom s točnošću 0,01 mm. Neposredno pred lijepljenje prosječna vlaga klimatiziranih uzoraka iznosila je 9,64%. Stlačivanje čepova obavljeno je na stroju za natisivanje i brazdanje tvrtke KNOEVENAGEL, tip VZ 122 iz SR Njemačke. Sva natisivanja su provedena u jednom prolazu, a odmah zatim je nanoseno ljepilo, te su uzorci slijepljivani na hidrauličnoj preši primjenom PVAc disperznog ljepila ROTOKOL 1102 proizvodnje MITOL — Sežana.

Količina nanosa na sljubnice:

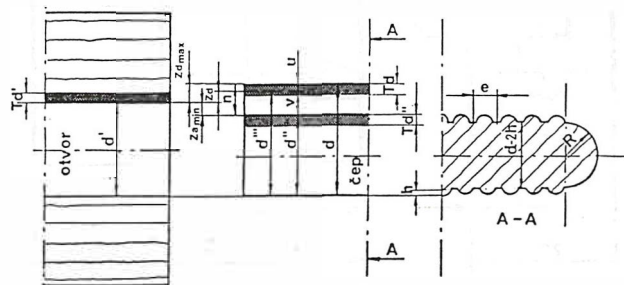
— čep, prosječno	137 g/m ²
— rupa, prosječno	115 g/m ²
Obostrano, prosječno	252 g/m ²

Uzorci za ispitivanje izrađeni su u Tvornici namještaja DIP-a OGULIN. Prije kidanja odloženi su na klimatiziranje u uvjetima vlage ravnoteže 8 ... 10%.

Ispitivanje slijepljenih uzoraka

Prije kidanja ispitana je vlaga uzorka koja je u prosjeku iznosila 8,53%. Za modele prikazane na sl. 1. adaptirana je kidalica tvrtke WOLPERT iz SR Njemačke, na kojoj su uzorci opterećivani momentom sile brzinom djelovanja 8 mm/min. Mjereni su otkloni okvirnica uložnim mjerilima kod određenog opterećenja, te moment sile loma (ML).

Na slici 5. iznesen je shematski prikaz sastava zaobljeni čep — podužna rupa, obrađen tehnikom natisivanja i brazdanja.



Slika 5. Shematski prikaz sastava čep-rupa obrađen tehnikom natisivanja i brazdanja

Fig. 5. Schematic representation of juncture: tenon and hole, worked out by pressing into and grooving technique

Oznake koje se rabe u ovom radu sa slike 3. su sljedeće:

d	= debljina čepa nakon glodanja
d'	= visina otvora — rupe
d''	= debljina čepa nakon natisivanja
d'''	= debljina čepa nakon bubrenja — lijepljenja
u	= trajna utisnutost po debljini
n	= natisnutost čepa prije lijepljenja
V	= razlika ukupne i trajne natisnutosti — povrat
Za _{min}	= minimalni zazor prije lijepljenja
Zd _{max}	= maksimalni zazor
Zd	= zazor nakon bubrenja — lijepljenja
h	= dubina izbrazdanosti
e	= razmak brazdi
Td'	= odstupanje visine otvora
Td	= odstupanje čepa nakon glodanja
Td''	= odstupanje čepa nakon natisivanja.

Zazor je karakteristika labavog i prijelaznog dosjeda, te se razlikuju [1]:

$$Za_{\min} = d'_{\min} - d_{\max} \dots \text{mm} \quad (1)$$

$$Za_{\max} = d'_{\max} - d_{\min} \dots \text{mm} \quad (2)$$

Zazor je karakteristika prijelaznog i čvrstog dosjeda te se razlikuju:

$$Zd_{\min} = -(d'_{\max} - d_{\min}) \dots \text{mm} \quad (4)$$

$$Zd_{\max} = -(d'_{\min} - d_{\max}) \dots \text{mm} \quad (5)$$

Na isti način izračunava se zazor nakon bubrenja na osnovi bubrenja čepa i dočepa na dijelovima s otvorom, odnosno mjerenjem raspiljenih uzoraka po lijepljenju.

Za praktične se potrebe srednji zazor može računati na osnovi dobivenih izmjera i proračuna srednjih vrijednosti otvora i čepa:

$$\bar{Z}a = \bar{d}' - \bar{d} \dots \text{mm} \quad (6)$$

odnosno zazor:

$$\bar{Z}d = -(\bar{d}' - \bar{d}) \dots \text{mm} \quad (7)$$

Srednja natisnutost izračunana je na osnovi razlike nenatisnutih i natisnutih čepova:

$$\bar{n} = \frac{\sum (d - d'')}{N_i} \dots \text{mm} \quad (8)$$

Čvrstoća spoja izražena tangencijalnim naprezanjima može se izraziti:

$$\tau_L = \frac{M_L}{2 \alpha h L^2} \dots \text{N/cm}^2 \quad (9)$$

gdje je:

$$M_L = F_L \cdot L \dots \text{Ncm} \quad (10)$$

$\alpha = 0,23$ ako je $h/l = 40/26 = 1,54$
 $\alpha = 0,20$ ako je $h/l = 39,4/30,08 = 1,31$
 h = širina čepa, l = duljina čepa

Na tablici I. iznijete su srednje vrijednosti o maksimalnim posmičnim naprezanjima i pripadnim natisnutostima za svih pet uzoraka:

Uzorak	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5
Broj uzoraka	20	23	12	12	12
τ_L (N/cm ²)	1081	1957	1997	1691	1527
n (mm)	0,257	0,377	0,434	0,621	1,089

s podacima o točnosti izvedbe otvora i čepova, tj. o najvećem i najmanjem zadoru pri pojedinim uzorcima, te srednjem zadoru i odstupanjima zadora (Tablica II).

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata istraživanja o utjecaju obrade čepova tehnikom natiskivanja i brazdanja, koja su provedena na zaobljeno-plosnatim ili ovalnim čepovima, mogu se donijeti slijedeći zaključci:

— Natisnuti i izbrazdani čepovi daju čvršće spojeve od čepova izrađenih tehnikom glodanja bez natiskivanja. Uzorci s veličinom natisnutosti $n = 0,25$ mm, u odnosu na $n = 0,45$ mm, daju

Tablica II.

Uzorci		U-1	U-2	U-3 dimenzije u mm	U-4	U-5
$\bar{Z}d''_{max}$	o.	-0,34	-0,52	-0,69	-0,98	-1,71
	n.	-0,08	-0,17	-0,30	-0,44	-0,59
$\bar{Z}d''_{min}$	o.	-0,17	-0,13	-0,12	-0,30	-0,66
	n.	-0,03	-0,09	-0,07	-0,12	-0,21
$\bar{Z}d''$	o.	-0,26	-0,35	-0,48	-0,62	-0,09
	n.	-0,01	-0,04	-0,03	-0,03	-0,07
$\bar{T}Zd''$	o.	-0,17	-0,39	-0,57	-0,68	-1,05
	n.	-0,05	-0,08	-0,30	-0,32	-0,38
n_{sr}		0,257	0,377	0,434	0,621	1,089

$\bar{T}Zd''$ = srednje odstupanje zadora
 o = obični glodani čep; n = natisni čep

4. OBRADA PODATAKA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Obrada podataka provedena je u Centru za obradu podataka Zavoda za istraživanja u drvnj industriji Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Izjednačenje podataka o silama loma (F_L) za određenu natisnutost čepova (n) izvršeno je eksponencijalnom krivuljom:

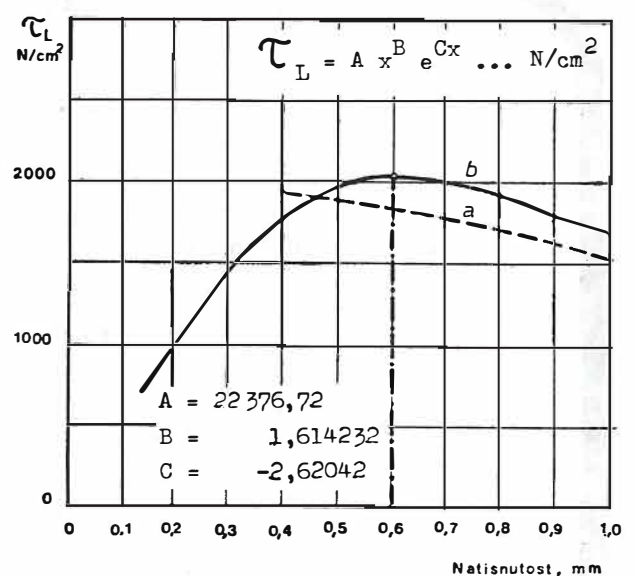
$$Y = A \cdot x^B \cdot e^{Cx}$$

Funkcija je izjednačena »linearizacijom« pomoću logaritmiranja, što inače ne daje optimalne rezultate u smislu metode najmanjih kvadrata. Odabrana krivulja približno aproksimira raspored točaka u dijagramu $n - \tau_L$, prema kojima u početku čvrstoća naglo raste, a iza maksimuma sporo opada.

Parametri jednadžbe iznose:

$$A = 22376,72; \quad B = 1,614232; \quad C = -2,62042$$

Ovisnost čvrstoće lijepljenog spoja, izražena posmičnim naprezanjima (τ_L), o veličini natisnutosti zaobljenog čepa (n) prikazana je na slici 6. Grafički prikaz potrebno je razmatrati uz tablicu



Slika 6. Ovisnost čvrstoće lijepljenog spoja (τ_L) o veličini natisnutosti čepova (n):

- a) Krivulja izjednačenja iz ranijih istraživanja
 b) Krivulja izjednačenja iz sadašnjih istraživanja

Fig. 6. Interdependence of glued joint's strength (τ_L) and extent of pressing into of tenons (n)
 a) Equalization curve from previous researches
 b) Equalization curve in present researches

skoro jedamput manju čvrstoću lijepljenja. Tako je uzorak U-3 za natisnutost 0,434 mm pokazao prosječnu čvrstoću lijepljenja od 1997 N/cm².

— Dosadašnja istraživanja autora na istoj problematici proširena su uzorcima s nižim vrijednostima natisnutosti npr. U-1, koji je pokazao znatno nižu prosječnu čvrstoću spojeva. To je bio uzrok da je krivulja izjednačenja pomaknula svoj maksimum, pa tako i interval optimalne natisnutosti u područje iznad 0,534 mm. Krivulja izjednačenja ima svoj maksimum kod $n = 0,60$ mm, tj. $\tau_{11} = 2036,39$ N/cm².

— Podaci za natiskivanje moždanika i okruglih čepova ne mogu se primijeniti za okrugle čepove za koje vrijede druge metode obrade natiskivanja čepova.

— Točnost izrade ima znatan utjecaj na rezultate lijepljenja, tim više što pri natiskivanju drva dolaze do izražaja elastične deformacije, tako da su zabilježene vrijednosti odstupanja srednjih zadora u intervalu $Z_d = -0,05 \dots -0,38$ mm. Dakako da na odstupanja utječe i netočnost izrade otvora.

Uvođenjem moderne i precizne opreme za izradu konstrukcijskih sastava, ostvaruju se pret-

postavke za primjenu sistema dosjeda i tolerancija pri spajanju konstrukcija koje zahtijevaju visoku razinu kvalitete. Usporedo s prihvaćanjem sistema tolerancija za drvo treba uvoditi u praksu tehnologiju visoke točnosti obrade i uspredno preporuke za pravilno dimenzioniranje konstrukcijskih spojeva koje su bazirane na utvrđenim znanstvenim rezultatima.

Recenzent: prof.dr. B. Ljuljka

LITERATURA

- [1] Skopal, B. i Alić, O.: Konstrukcije proizvoda od drveta. Skripta, Univerzitet u Sarajevu, 1966.
- [2] Komenický, J.: Nachgiebigkeit von Zapfenverbindungen für Möbelkonstruktionen, Dreverksky Vyskum, Ročník 20, zva-zok 4, Zvolen, 1975.
- [3] Dziegielewski, S.: Badania nad Polaczeniami szkieletowych konstrukcji mebli z drewna. Folia forestalia Polonica, seria B, Zeszyt 12, Poznan, 1975.
- [4] Korzenicwski, A. M.: Fit improves properties of joints. Furniture Manufacturer 47/1982/1
- [5] Skopal, B. i dr.: Definiranje optimalnog nasjeda konstrukcione veze čep-gnijezdo izvedene na detaljima od bukovine, Pregled 1—4, Univerzitet u Sarajevu, 1981.
- [6] Tkalec, S.: Utjecaj konstrukcijskih spojeva na kvalitetu stolica — Disertacija, Sumarski fakultet u Zagrebu 1986.
- [7] Kundela, J. i dr.: Rozmerové zmeny otvorov v dreve a dreva v okolí otvoru Vplyvom zmien vlhkosti, Drevo 41 (1986)
- [8] Tkalec, S.: Ispitivanje čvrstoće spojeva okruglim čepom, Drvna industrija 38 (9—10) 211—217 (1987)
- [9] Rakuš, F.: Tolerance in ujemi v lesarstvu, Delavska univerza »Boris Kidrič« i SZL Slovenije, Ljubljana 1989.

IZRAČUNAJTE:

Koliko stoji otprema Vaše okružnice s prospektom potencijalnim kupcima!?

Mi smo pronašli bolje rješenje!

Oglas u časopisu »DRVNA INDUSTRIJA« stiže do praktički svih drvno-industrijskih poduzeća i stručnjaka u Jugoslaviji, a barem upola jeftinije.

RAZMISLITE O TOME!

Tražite od nas cjenik i plan izlaženja časopisa!
Obratite se s punim povjerenjem

Uredništvu »DRVNE INDUSTRIJE«
41000 ZAGREB
Ulica 8. maja 82/I