

Neka iskustva u ispitivanju lameliranih lijepljenih nosača

Mr Salah Eldien Omer, dipl. ing.
INSTITUT ZA DRVO — ZAGREB

UDK 634.0.832.286

Prispjelo: 10. ožujka 1982.
Prihvaćeno: 29. listopada 1982.

Znanstveni rad

Sažetak

U ovom članku izložena su iskustva u ispitivanju kvalitete lameliranih nosača u Institutu za drvo — Zagreb. U praksi se pokazalo da je nužno potrebno redovno kontrolirati proizvodnju i ispitivati nosače kod zato ovlaštene institucije. Na faktore koji utječu na kvalitetu lameliranih nosača može se utjecati boljim upoznavanjem pojedinih elemenata proizvodnje i boljom kontrolom kvalitete drva i ljepila koja se upotrebljavaju. Metoda za ispitivanje lameliranih nosača osniva se na zahtjevima iz raznih standarda i plod je dugogodišnje suradnje više ustanova.

Pri izdavanju uvjerenja o kvaliteti nosača mora se voditi računa o rezultatima ispitivanja upotrijebljenog drva i ljepila, kako bismo bili sigurni u kvalitetu ispitivanog nosača, a time i u samo uvjerenje.

Ključne riječi: lamelirani nosači — drvo za lamele — kvaliteta lijepljenog spoja — metode ispitivanja — faktori koji utječu na kvalitetu.

SOME EXPERIENCES OBTAINED IN TESTING GLUED-LAMINATED STRUCTURAL MEMBERS

Summary

This article presents the experiences obtained in testing the quality of laminated structural members in the Wood Institute, Zagreb.

The practice evidenced the necessity of regular production control and testing of structural members by the competent institutions. Better introduction of individual production elements and better quality control of timber and glues applied can influence the factors producing effects on the quality of laminated structural members. The method of test of laminated structural members is based on various standards requirements and it is a product of longtime cooperation of a number of institutions.

When issuing the quality certification for structural members, a care should be taken about the results of testing timber and glues applied, in order to be sure in the quality of tested structural member and the certification, as well.

Key words: laminated structural members — species for laminating — quality of glue joints — method of test — factors influencing the quality. (A. M.)

U V O D

Pod lameliranim lijepljenim nosačima podrazumijevaju se lamele jednakih debljina, međusobno spojene ljepilom pod određenim pritiskom. Treba istaknuti da postoji prilično velika razlika između lijepljenih elemenata za namještaj i druge nenosive elemente (kao lamperija, prozori, vrata, podovi i sl.) i lijepljenih nosača za građevinarstvo. Lamelirani lijepljeni nosači pripadaju području inženjerskih konstrukcija zbog njihove mogućnosti nošenja znatnih tereta na velikim rasponima, pa zahtijevaju poseban postupak, kako u proizvodnji tako i pri gradnji i kontroli kvalitete [7].

Drvo se kao građevna i konstrukcijska sirovina, zbog svoje male težine, lagane obrade i dobrih mehaničkih osobina, upotrebljavalo još od davnina. To dokazuju nalazišta drvenih predmeta, oruđa, sačuvani ostaci drvenih konstrukcija i drugi nalazi.

Drveni predmeti bili su u početku međusobno spojeni na razne načine: različitim biljnim korjenjem, kožnim remenjem, drvenim klinovima i sličnim sredstvima.

Prvi tragovi lijepljenih predmeta i lijepljenog drva nađeni su prije 3000 godina u iskopinama grobnice egipatskih faraona. Na jednom zidu grobnice arheolozi su otkrili i prikazanu tehniku lijepljenja. Znanje o lijepljenju drva proširilo se kasnije na grčku i rimsku kulturu, o čemu svjedoče pojedini stari zapisi, koji čak opisuju pripremanje kožnog tutkala.

Sintetska ljepila od umjetnih smola počela su se upotrebljavati za lijepljenje vezanog drva 1930. god. i od tada su zauzela dominantno mjesto u lijepljenju drva zbog pozitivnih svojstava nekih vrsta i tipova, a osobito zbog otpornosti na vlagu, hladnu i vruću vodu, visoke temperature, gljivice i insekte [8].

Fenolne umjetne smole rezotnog tipa, koje otvrdnjuju kod normalne sobne temperature (Aerodux, Cascofen, Kauresin i dr.), bile su lansirane kao ljepila za drvo u godinama prije drugog svjetskog rata kao zamjena za tadašnja usko profilirana prirodna ljepila.

Danas na tržištu postoji čitav niz sintetskih ljepila na bazi umjetnih smola, koja se upotrebljavaju za lijepljenje drva, a razvrstavaju se u grupe ljepila na bazi polikondenzacije, polimerizacije i poliadicije.

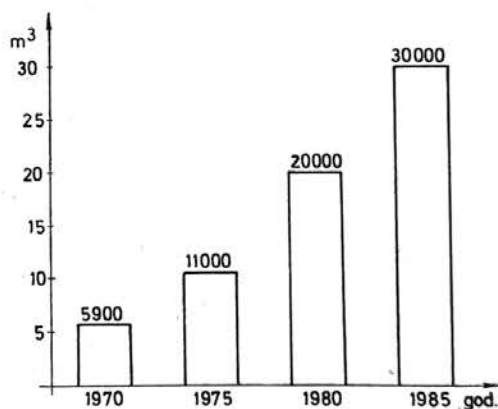
Kao što je poznato, proces vezanja ljepila može biti fizikalni, fizikalno-kemijski i kemijski. Fizikalnim procesom uklanja se otapalo ili disperzivno sredstvo ishlaplivanjem i apsorpcijom. Kemijskom reakcijom ljepila prelaze u kruto stanje, tako da se povećava molekularna težina. Reakciju ubrzava toplina, katalizatori i pritisak. U praksi nema kemijskog vezanja ljepila. Redovito

dolazi do kombinacije fizikalnih i kemijskih procesa.

Za sljepljivanje drva u proizvodnji lijepljenih lameliranih drvenih građevinskih konstrukcija upotrebljavaju se u prvom redu čista ili modificirana ljepila na bazi rezorcina, fenola (krezola) i melamina, a na tržištu ih susrećemo pod komercijalnim nazivima: »Aerodux«, »Cascofen«, »Kauresin«, ljepilo RF i RFF, »Kauramin«, »Melokol«, »Presal«, »Melofix« itd.

Drvene lijepljene lamelirane konstrukcije u razvijenim zemljama postigle su priličan uspjeh, tako da Francuska danas ima više od 30 tvornica, Austrija oko 20, SR Njemačka oko 80, Švicarska oko 15, međutim, gradnja lijepljenim lameliranim konstrukcijama u tim zemljama ne zamjenjuje linearno betonske i čelične konstrukcije gdje to nije svrsishodno. Lamelirane konstrukcije primjenjuju se tamo gdje betonske i čelične nisu pogodne, gdje ambijent zahtijeva ovu vrstu gradnje, gdje je drvo kao građevinski materijal rentabilnije (kod objekata većih od 18 m raspona pa do 80 m).

Godine 1968. započela je proizvodnja i primjena lijepljenih lameliranih drvenih konstrukcija u Jugoslaviji na bazi teoretskih i praktičnih iskustava znanstvenih radnika i stručnjaka tehnologa pojedinih instituta, fakulteta i iz industrije.



Slika 1. Porast proizvodnje lameliranih nosača u Jugoslaviji od 1970—1985. u m³ [6]

Fig. 1 Growth of production of laminated structural members in Yugoslavia from 1970 to 1985 in cbm [6].

Godine 1969/70. počela je redovna proizvodnja lameliranih nosača u industrijskom kombinatu »Krivaja« — Zavidovići, DI »Gaj« Podravska Slatina u Voćinu i »Hoja« predelava lesa u Ljubljani.

Razvoj lameliranih drvenih nosača predviđen je dugoročnim planom razvoja drvne industrije Jugoslavije do 1985. godine. Porast ove proizvodnje prikazan je po godinama u m³ na sl. 1.

1.0. POTREBA ZA ISPITIVANJEM LAMELIRANIH NOSAČA I KONTROLA KVALITETE

Svaki industrijski proizvod posjeduje određena svojstva, koja su odlučujuća za njegovu primjenu. Vrijednost i ravnomjernost ovih svojstava, te njihova istovremena kombinacija, predstavljaju mjeru za kvalitetu proizvoda i utječu ne samo na njegovu cijenu već i na njegovo mjesto u konkurenciji s drugim proizvodima, a time i na ekonomski uspjeh proizvodnje [7].

Za osiguranje određenog nivoa kvalitete nekog proizvoda neophodna je kontrola osnovnih karakteristika i ispitivanje gotovog proizvoda. Prema mogućnostima, kontrola kvalitete proizvoda potrebna je i u toku proizvodnog procesa kako bi se izvori (mogući ili postojeći) grešaka mogli na vrijeme uočiti i pomoću odgovarajućih pogonskih tehničko-tehnoloških metoda odstraniti.

Budući da sigurnost i pouzdanost drvenih konstruktivnih dijelova (svi statički opterećeni građevinski dijelovi koji se primjenjuju ne samo u građevinarstvu nego i u druge svrhe) ovisi o lijepljenim spojevima, koji stvaraju čvrstu i integriranu statičku vezu, potrebno je da ti konstruktivni dijelovi kod upotrebe ispunjavaju visoke zahtjeve na čvrstoću lijepljenih spojeva, kvalitetu ljeplila i kvalitetu upotrijebljenog drva.

Za lamelirane drvene konstrukcije u Jugoslaviji nije do danas izrađen odgovarajući standard kojim bi se popisali minimalni zahtjevi u pogledu čvrstoće kao i metode ispitivanja [7].

Institut za ispitivanje materijala EMPA u Zürichu bio je jedan od prvih instituta koji je radio na ispitivanju kvalitete lameliranih drvenih nosača i dao poznate prijedloge (metode) za ispitivanje kvalitete lijepljenog spoja.

S obzirom da se lamelirani nosači u toku upotrebe izlažu opterećenjima, a time i znatnim promjenjivim naprezanjima same sljubnice (za razliku od drugih vrsta slojevitog drva, kao furnirskih ploča i panel-ploča i dr.) smatralo se da je najpouzdaniji kriterij za ocjenu kvalitete čvrstoća lijepljenog spoja.

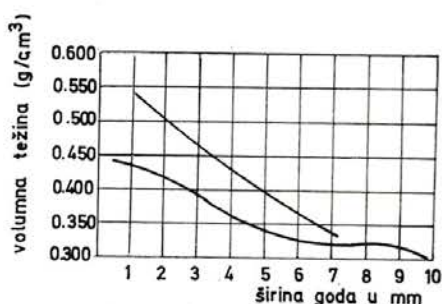
Lamelirane lijepljene nosače ispituju radi sigurnosti objekta u koji su ugrađeni, te radi određivanja kvalitete prije ugradnje na mjestu upotrebe. Ispitivanje i potvrdu o kvaliteti nosača zahtijevaju i građevinari radi dozvole za ugradnju i zadovoljenja propisa u građevinarstvu kod uporabe drva ili drvenih proizvoda.

Kvaliteta i sigurnost lameliranih nosača ovisi o nizu utjecajnih faktora, kao što su kvaliteta upotrijebljenog drva, kvaliteta ljeplila, čvrstoća i trajnost lijepljenog spoja.

2. FAKTORI KOJI UTJEČU NA KVALITETU LAMELIRANIH NOSAČA

2.1. Kvaliteta upotrijebljenog drva (lamele)

Osnovno fizičko svojstvo drva je volumna težina, koja ovisi o nizu unutrašnjih i vanjskih faktora (vrsta drva, građa, dio stabla, sadržaj vlage, kemizam, stanište, položaj stabla u sastojini i ostalo). Proizvođači lameliranih nosača upotrebljavaju uglavnom jelu/smreku, a njihova volumna težina se kreće u granicama od (za jelovinu 0,320 ... 0,410 ... 0,710 g/cm³, a za smrekovinu od 0,300 ... 0,430 ... 0,640 g/cm³). Poznata je korelacija između širine goda i težine drva (sl. 2.), [5].



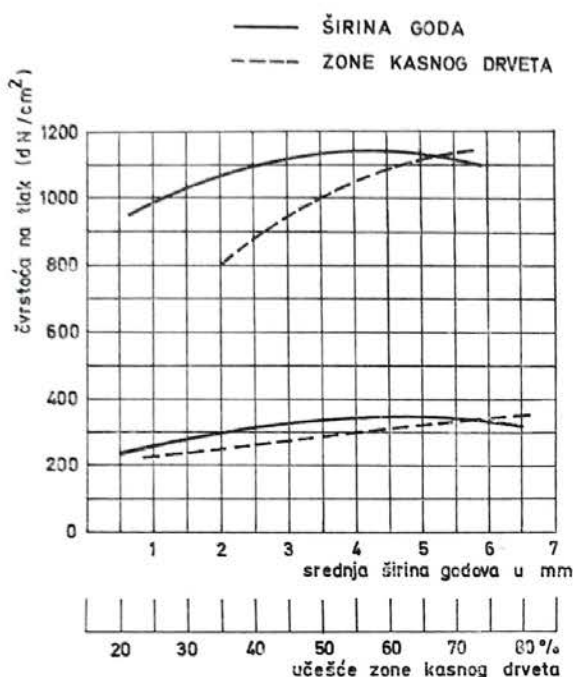
Slika 2. Odnos između volumne težine drva i širine goda (po Karuški).

Fig. 2 Relation between the volume weight of wood and annual growth ring width (according Karuška).

Široki godovi kod drva imaju za posljedicu veću poroznost drva, a time i manju čvrstoću, što može dovesti do smanjenja nosivosti drvene konstrukcije. Iskustvo je pokazalo da je najbolja širina godova 4—5 mm. Na slici 2. vidi se da takvu širinu godova ima drvo kojem se volumna težina kreće između 0,350 — 0,400 g/cm³ kod smreke i 0,380 — 0,450 kod jele. Ovaj podatak vrlo je važan kao orijentacija za izbor i kontrolu lamela kod izrade lameliranih nosača. Dakle, volumna težina drva može poslužiti kao kriterij za kvalitetu drva, za ocjenu njegovih fizičko-mehaničkih svojstava i kao mjerilo za trajnost.

Promjena dimenzije i oblika drva naziva se deformacijom (privremena ili elastična i trajna ili plastična).

Djelovanjem vanjske sile na drvo očituju se mehanička svojstva (elastičnost, čvrstoća, tvrdća i otpornost na habanje). Osnovne karakteristike drva kao materijala jesu: nehomogenost, anizotropnost i varijabilnost. Mehanička svojstva drva ovisе o pravilnosti građe, koja je nosilac čvrstoće i elastičnosti, te o širini goda (sl. 3).



Slika 3. Odnos između čvrstoće na tlak i širine goda, odnosno zone kasnog drveta (Kollman i Clarke [5]).

Fig. 3 Relation between the compression strength and the annual growth ring width, i. e. zone of latewood (Kollman and Clarke [5]).

Za ocjenu mehaničkih svojstava može poslužiti volumna težina, zona kasnog drveta i širina goda. Pri izboru materijala (drva) potrebno je posvetiti pažnju odnosu čvrstoće i volumne težine drva (koeficijent kvalitete).

Pojam greške drva je relativan. U tehničko-trgovačkom smislu pod greškom se podrazumijevaju sve nepravilnosti građe i konzistencije drva koje mu smanjuju fizička i mehanička svojstva, stupanj upotrebljivosti drva kao sirovine, odnosno nepovoljno utječu na kvalitetu gotovog proizvoda. Greške drva klasificirane su po dimenzijama na velike (kvrge, raspukline, usukanosti itd.) i male (sržne mrlje, smolne vrećice, bušotine od insekata itd.). Praksa je pokazala da je potrebno izbjegavati sve vrste grešaka u lamelama, a posebno velike kvрге, trulež i greške od štetnika zbog njihova utjecaja na kvalitetu nosača.

2.2. Izrada nosača

Tehnološki proces izrade lameliranih nosača sastoji se od 14 glavnih i važnih operacija: razvrstavanje i kontrola građe, sušenje građe, kontrola sušene građe, kontrola vlažnosti građe, izrada čepova, lijepljenje i spajanje obradaka u lamela, prerezivanje i slaganje lamela u paket, blanjanje lamela, priprema ljepila, nanos ljepila, u-

laganje lamela u prešu, stezanje stegača, blanjanje i kontrola debljine i nanos biološkog zaštitnog sredstva [5].

Faze tehnološkog procesa kod kojih treba posebno obratiti pažnju i povećati kontrolu jesu sljedeće:

- faza razvrstavanja, kontrola i sušenje građe,
- kontrola vlage lamela,
- faza pripreme ljepila i nanos ljepila,
- faza prešanja i kontrola pritiska.

Kod razvrstavanja građe potrebno je odmah izvršiti selekciju građe prema zahtjevima JUS-a za I/II klasu i kontrolu širine goda. Nakon izbora građu treba odmah transportirati u sušionice, a nakon sušenja u prostor gdje se kontrolira relativna vlaga zraka i temperature, gdje se vlaga ravnoteže drva mora kretati između 9—15%. Vlaga ravnoteže koja se preporuča i zahtijeva pri lijepljenju kreće se između 10—16%. Praksa je pokazala da je prije lijepljenja vrlo važno da kontaktne površine koje se međusobno lijepe budu relativno čiste i da se njihova hrapavost (finoća) kreće u dozvoljenim granicama (20—25 μ).

Kod pripreme ljepila vrlo je važno kontrolirati kvalitetu samog ljepila (viskozitet, radno vrijeme, pH i vrijeme otvrdnjavanja ljepila). Praksa i istraživački radovi dokazali su da klimatski uvjeti pod kojima se priprema ljepilo veoma utječu na sposobnost lijepljenja i kvalitetu lijepljenog spoja. Temperatura i relativna vlaga prostora u kojem se priprema ljepilo moraju biti oko 20°C/65%.

Nanos ljepila i debljina sljubnica moraju odgovarati propisanim uputama proizvođača ljepila. Istraživanja i praksa pokazali su da nanoseni sloj ljepila mora biti takav da na najbolji način omogući ljepilu da se kohezijski i adhezijski veže. Maksimalno dopuštena debljina sljubnica za rezorcinsko ljepilo je 0,3 mm.

Ispitivanja u Institutu za drvo u Zagrebu pokazala su da na kvalitetu, čvrstoću i trajnost slijepljenog drva utječu sljedeći faktori:

- fizikalno-kemijske karakteristike upotrijebljenog ljepila,
- postotak vlažnosti upotrijebljenog drva,
- nanos ljepila na površinu drva,
- specifični pritisak prešanja,
- temperatura i vlaga radne prostorije.

3.0 ISPITIVANJE LAMELIRANIH LIJEPLJENIH NOSAČA

3.1. Problematika i metoda ispitivanja

Radi pronalazjenja i razrade standardiziranih metoda za ispitivanje lameliranih nosača, odnosno čvrstoće lijepljenog spoja nosača, polazilo se od sljedećih osnovnih pretpostavki [7]:

- da probe za ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva moraju po svom obliku i dimenzijama približno odgovarati potrebama za ispitivanje masivnog drva, kako bi se mogla vršiti usporedba sa čvrstoćom drva,
- da se postupci za ispitivanje lijepljenih spojeva ne bi trebali u znatnijoj mjeri razlikovati od postupaka ispitivanja masivnog drva,
- kod laboratorijskih ispitivanja čvrstoće, treba pogodnim izborom ciklusa i promjene utjecaja temperature i vlage što je moguće više približiti se stvarnim uvjetima u fazi eksploatacije,
- ispitivanje čvrstoće trebalo bi provoditi ne samo nakon već i za vrijeme utjecaja temperature i vlage. To bi omogućilo ustanovljivanje promjene čvrstoće kod istovremenog djelovanja temperature i vlage opterećenjem.

Polazeći od tih osnovnih pretpostavki, u pojedinim zemljama (Švedska, Norveška, Engleska i dr.), razrađene su metode ispitivanja, te su određeni oblik i dimenzije epruveta za pojedina ispitivanja.

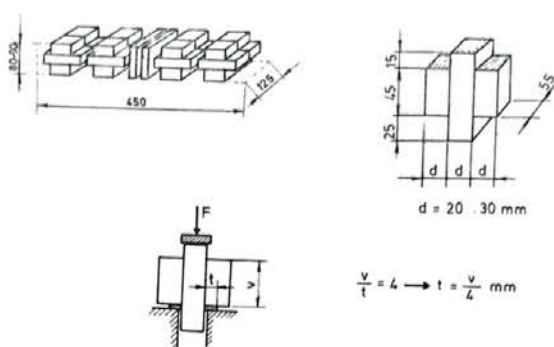
3.2. Metode ispitivanja

Institut za drvo — Zagreb, nakon dugog ispitivanja i analiziranja raznih metoda i podloga za laboratorijsko ispitivanje lameliranih nosača, usvojio je metode ispitivanja po propisima DIN 53254 i BS 4169. Kod izbora metode za ispitivanje i cilja ispitivanja uzela se u obzir činjenica da su kvaliteta i sigurnost neke konstrukcije, uz pretpostavku korektnog statičkog računa, ovisni o slijedećim faktorima: kvaliteta drva i ljepila i pravilno vođenje tehnologije proizvodnje [7]. Prema tome, kontrola kvalitete lijepljenja na uzorcima iz lameliranih nosača vezana je s kontrolom kvalitete masivnog drva (lamela) i upotrijebljenog ljepila.

Ispitivanja u laboratoriju Instituta za drvo vrše se po slijedećim standardima:

1. Za masivno drvo i zupčaste spojeve (lamela): JUS D.A1.040; D.A1.041, D.A1.042, D.A1.043, D.A1.046, D.A1.048 i JUS D.E1.010, te DIN 68 140/71.
2. Za čvrstoću na smicanje uslijed pritiska (sl. 4): DIN 53254, B.S. 4169 (Odnosi se na procjenu smicanja po drvu ili po sloju ljepila) i JUS H.K.8.024.
3. Za ljepilo: JUS H.K.2.024 i H.K.8.024.

U Institutu za drvo ispitivanja se trenutno provode po metodi EMPA (Zürich) u suhom stanju i nakon uvjeta kondicioniranja TD-5/7 i TD-5/8, kojom se u laboratorijskim uvjetima imitira utjecaj vanjskih klimatskih faktora (DIN 50014). Pored ustanovljivanja čvrstoće na smicanje uslijed pritiska, registrira se i udjel smicanja po drvu i po sloju ljepila u $\%$. Konačna ocjena o kva-



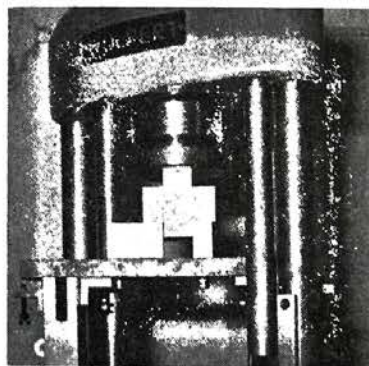
Slika 4. Uzimanje uzoraka i oblik epruvete za ispitivanje čvrstoće na smicanje uslijed pritiska.

Fig. 4. Sampling and shafe of test tube for testing shear strength under effect of pressure.

liteti lijepljenja daje se nakon statističke obrade podataka.

Ispitivanje se vrši na univerzalnom stroju WOLPERT za ispitivanje mehaničkih svojstava drva (sl. 5).

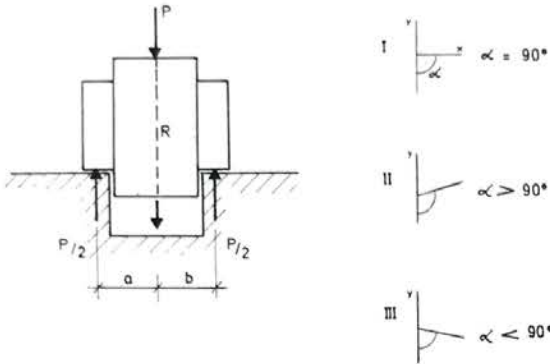
Oblik epruvete (sl. 4) vrlo je praktičan, a može se dobiti jednostavnim zahvatom kružnom, odnosno tračnom pilom. Dobivena epruveta obrađuje se dalje pažljivo ručnom pilom i dlijetom. Dodatna obrada za čišćenje i kontrola površine spoja vanjske i srednje lamele neophodna je za dobivanje čistog smicanja na površini lijepljenog sloja. Vlakna koja ostaju na rubu površine lijepljenog spoja za ispitivanje povećavaju silu smicanja i do 40%.



Slika 5. Uređaj za ispitivanje čvrstoće na smicanje pod djelovanjem pritiska (Institut za drvo — Zagreb).

Fig. 5. Device for testing shear strength under effect of pressure (The Wood Institute — Zagreb).

Kontrola izrade pojedinih epruveta neophodna je (obvezna) prije ispitivanja. Netočna obrada pojedinih površina epruveta može jako utjecati na konačni rezultat. Ravnost površine pojedinih dijelova epruvete vrlo je važna, a osobito dijelova kojima epruveta sjeda na uređaj i gornji dio na koji se vrši pritisak, i zbog djelovanja sile. Djelovanje sile (rezultanta) mijenja se promje-



Slika 6. Položaj epruvete na uređaju i ispravno djelovanje pritiska na epruvetu u momentu ispitivanja.

Fig. 6 Position of test tube on the device and proper action of compression strength on the test tube at the moment of testing.

nom kuta α (kut koji zatvara epruveta sa stalcom, odnosno os x).

R_x mora uvijek biti

$$\sum_{i=1}^n P_{ix} = 0$$

Ispravni položaj epruvete i djelovanje sile vide se na slici 6.

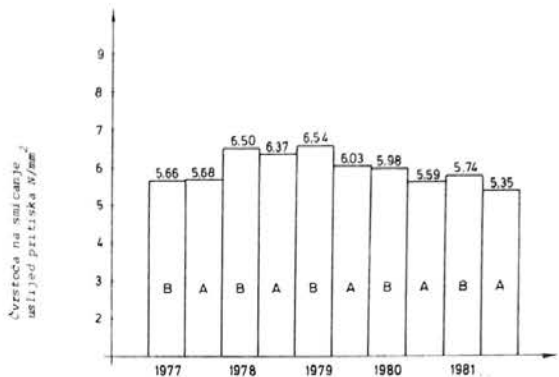
Sila (P) koja se očitava na kazaljki stroja u momentu loma kod slučaja (I) $\alpha = 90^\circ$ uvijek je jednaka egzaktnoj sili loma ($P = P'$). Kod drugog slučaja (II), kad je $\alpha > 90^\circ$, ili kod trećeg slučaja, kad je $\alpha < 90^\circ$, očitana sila nikad nije jednaka realnoj sili u momentu loma ($P \neq P'$).

Iz odnosa sile loma (P) i izmjerene površine smicanja (F) izračunava se čvrstoća na smicanje. Istovremeno se registrira udio smicanja po drvu, odnosno ljepilu. Dobiveni rezultati obrađuju se statistički na uobičajen način (\bar{x} , S , V). Na osnovi dobivenih rezultata izdaje se uvjerenje o kvaliteti lameliranih nosača koje obuhvaća slijedeće podatke:

1. Fizičko-mehanička svojstva lamele:
 - debljina lamele
 - volumna težina drva
 - čvrstoća na savijanje lamele
 - čvrstoća na istezanje lamele
2. Osnovna svojstva ljepila (suha supstancija, viskozitet, pH... itd.)
3. Čvrstoća na smicanje uslijed pritiska (epruvete iz nosača) (min, \bar{x} , max, σ , $V\%$ i smicanje po drvu).

Uz uvjerenje o kvaliteti, Institut za drvo obično daje i usmeni ili pismeni izvještaj, ako se zaobilježe neki ekstremni rezultati. Ekstremni (pretežno slabiji) rezultati posljedica su nekih grešaka u procesu proizvodnje (nepravilan nanos, slab pritisak, predugo otvoreno vrijeme, nepravilni klimatski uvjeti) ili prirodne greške u lameli (kvrge, veliki godovi i sl.). Grafikon (sl. 7) prikazuje rezultate ispitivanja čvrstoće na smicanje uslijed pritiska (od 1977. do 1981. god.). Podaci

na grafikonu su srednje vrijednosti svih obrađenih podataka (\bar{x}) u tom razdoblju. Oznake A i B označuju rezultate ispitivanja proizvoda dvaju različitih proizvođača.



Slika 7. Prikaz čvrstoće na smicanje uslijed pritiska (1977—1981).

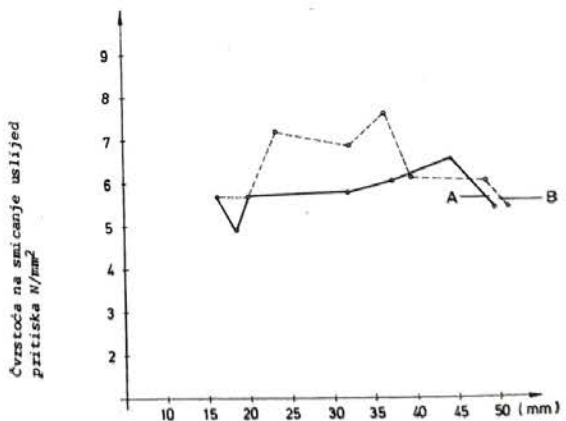
Fig. 7 Review of shear strength under effect of pressure (1977—1981).

4.0. UTJECAJNI FAKTORI NA KVALITETU LAMELIRANIH NOSAČA

4.1. Ovisnost čvrstoće na smicanje uslijed pritiska o kvaliteti drva

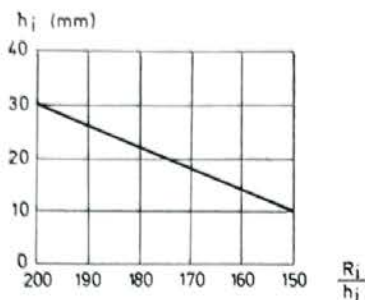
Ispitivanja u laboratoriju Instituta za drvo pokazala su da je kvaliteta lameliranih nosača ovisna o nekoliko osnovnih utjecajnih faktora (debljini lamele, volumnoj težini lamele, čvrstoći lamele, kvaliteti ljepila i ispravnosti procesa lijepjenja).

Opazanja kroz redovnu kontrolu kvalitete nosača i kroz niz eksperimenata laboratorijske proizvodnje nosača pokazala su da je debljina nosača vrlo važna. Nosači koji su imali srednje la-



Slika 8. Odnos debljine lamele i čvrstoće na smicanje uslijed pritiska kod ispitivanja nosača proizvođača A i B.

Fig. 8 Relation between the lamination thickness and shear strength under effect of pressure when testing structural members by manufacturers A and B.



Slika 8a. Dijagram za određivanje debljine lamela kod zakrivljenih lamela s radiusom zakrivljenosti $150 h_i \leq R_i < 200 h_i$

Fig. 8a Graph for determining lamination thickness for curved laminations with curve radius $150 h_i \leq R_i < 200 h_i$.

mele između 20—38 mm dali su najbolje rezultate nakon ispitivanja i pokazali se kao zadovoljavajući (sl. 8).

Poprečni presjek lamele, odnosno osnovnog elementa koji se lijepe (Čl. 352 — Prijedlog tehničkih propisa za drvene inženjerske konstrukcije) ne smije biti veći od:

- 40 cm² kod svih tvrdih listića, odnosno kod svih vrsta tvrdog drva,
- 50 cm² za četinjače i meke listiće za konstrukcije izložene jačim klimatskim promjenama i na otvorenom prostoru,
- 60 cm² za četinjače i meke listiće u uvjetima s minimalnim klimatskim promjenama u zatvorenom prostoru.

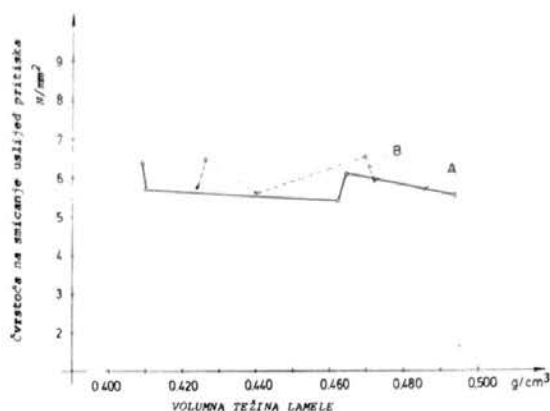
Najveća dopuštena debljina lamela u pravilu iznosi 30 mm. Ova se debljina može povećati na 40 mm ako se pomno provede sušenje i izbor lamela, a lamelirani lijepljeni nosači budu izloženi u toku eksploatacije ekstremnim klimatskim promjenama.

- Najveća dopuštena širina jedne lamele iznosi:
- bez posebnih zahvata 20 cm,
 - s izradom utora 24 cm.

Iznimno se dopušta najveća dozvoljena širina lameliranog nosača 30 cm, s tim da lamele moraju biti u poprečnom smjeru pomaknute u svemu za 2 h (h = visina lamele) kod slaganja. Kod zakrivljenih lamela s radiusom zakrivljenosti $R_i = 200 h_i$ (h = visina lamele) vrijede gore navedeni podaci. Kod zakrivljenih lamela s radiusom zakrivljenosti $150 h_i < R_i < 200 h_i$ određuje se debljina lamele prema dijagramu (sl. 8a).

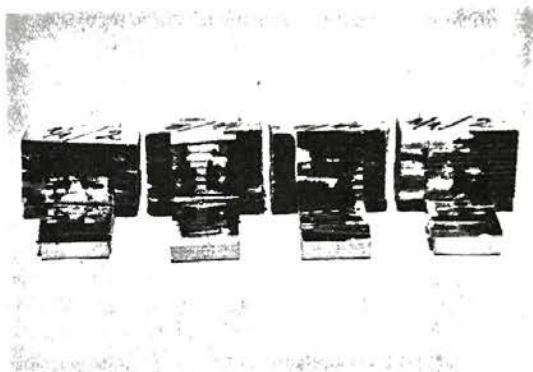
Redovna kontrola kvalitete lamela pokazala je da su fizičko-mehanička svojstva lamela u upotrebi vrlo različita. Proizvođači nosača nemaju kontinuirano zadovoljavajuću kvalitetu lamela, odnosno drva. Volumna težina upotrijebljene lamele je na donjoj granici, što znači da ima dobra mehanička svojstva (0,410 — 0,430 g/cm³).

Mehanička svojstva drva vezana su za njegovu volumnu težinu. Ispitivanje i kontrola kvalitete nosača potvrdili su postojanje veze između volumne težine upotrijebljene lamele i kvalitete no-



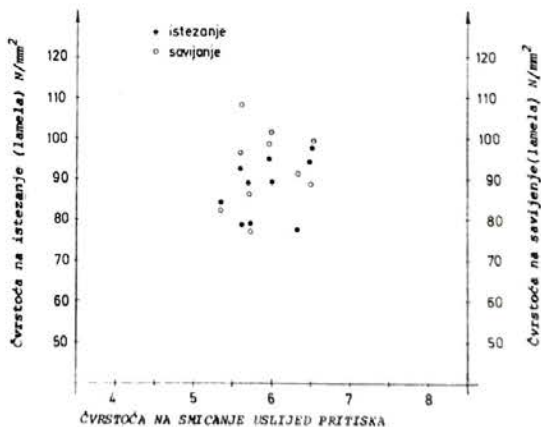
Slika 9. Odnos volumne težine lamele i čvrstoće ispitane epruvete na smicanje uslijed pritiska.

Fig. 9 Relation between the volume weight of lamination and the strength of tested tube on shear strength under effect of pressure.



Slika 9a. Debljina nanesenog sloja ljepljiva.

Fig. 9a Thickness of glue coat



Slika 10. Odnos čvrstoće ispitane epruvete na smicanje uslijed pritiska i čvrstoće na savijanje.

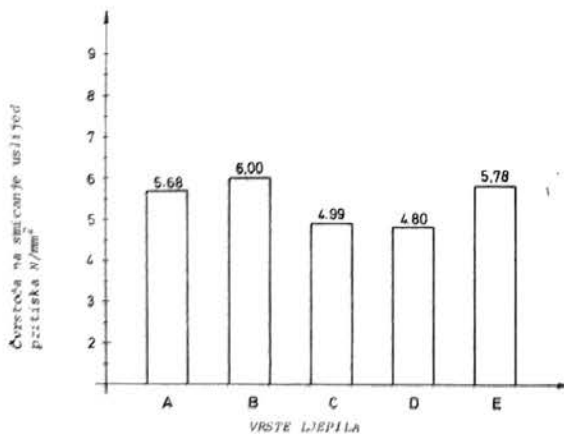
Fig. 10 Relation between the strength of tested tube on shearing under effect of pressure and the bending strength.

sača. Kao vrlo dobar pokazatelj kvalitete nosača uzeta je čvrstoća na smicanje uslijed pritiska, koja se određuje iz propisane epruvete. Na slici 9 vidi se određeni odnos između volumne težine lamele i čvrstoće na smicanje uslijed pritiska, kako je pokazalo ispitivanje.

Fizičko-mehanička svojstva lamele (posebno čvrstoća na smicanje, čvrstoća na istezanje) usko su vezana uz čvrstoću na smicanje lijepljenog sloja epruvete (sl. 10), što upućuje na to da je kvaliteta nosača uvjetovana ne samo kvalitetom lijepljenog spoja nego i kvalitetom samih lamela. Širina lamele, odnosno nosača, vrlo je važna za čvrstoću nosača. Najnovija američka istraživanja (E.P.S. January 1982 No. 1, yal. 32) dokazala su utjecaj širine lamele na čvrstoću i elastičnost gotovih nosača. Za kompletniju informaciju o kvaliteti gotovih nosača potrebno je ispitati i utjecaj širine lamele na kvalitetu nosača (ASTM D.1101/81, D.1916/69, D. 3737/78).

4.2. Ovisnost rezultata dobivenih ispitivanjem o kvaliteti lijepljenja

Epruvete za ispitivanje čvrstoće na smicanje uslijed pritiska redovno su pregledane prije i poslije ispitivanja, što je omogućivalo da se utvrdi debljina sljubnice, odnosno nanesenog sloja ljepila. U praksi se pokazalo da se kod ispitivanja moraju izbaciti epruvete koje imaju deblji sloj ljepila, jer su dobiveni rezultati kod ovakvih epruveta mnogo slabiji u odnosu na epruvete koje imaju normalnu debljinu nanesenog ljepila. Epruvete koje su imale pretanki sloj ljepila također su davale slabe rezultate kod ispitivanja čvrstoće na smicanje uslijed pritiska. Ispitivanja su potvrdila da su naprijed navedeni slučajevi vrlo česti u praksi i da su dobivene sile vezane za debljinu lijepljenog spoja (sl. 9a).

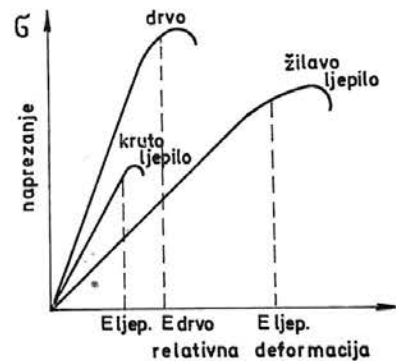


Slika 11. Čvrstoća na smicanje uslijed pritiska nosača izrađenih različitim ljepilima.

Fig 11 Shear strength under effect of pressure of structural members made by various glues.

Obično su proizvedeni nosači rađeni s raznim vrstama ljepila, što se često odražuje i na njihovoj kvaliteti. Upotreba jedne vrste ljepila na duže vrijeme daje mnogo bolje rezultate, vjerojatno zbog toga što proizvođač upozna ljepilo i primijeni pogodan način pripreme i nanos koji daje najbolje rezultate. Kroz ispitivanje i kontrolu nosača ustanovljeno je da se čvrstoća i kvaliteta nosača mijenjaju u prosjeku s vrstom upotrijebljenog ljepila, kao što se vidi na slici 11. Oznake A, B, C, D, označuju različite vrste ljepila kojima se koriste domaći proizvođači lameliranih nosača.

Vrlo je često u suradnji s proizvođačima nosača bilo postavljeno pitanje adekvatne recepture ljepila za njihove klimatske uvjete. Ustanovljeno je da klimatski uvjeti imaju vrlo velik utjecaj na kvalitetu lijepljenog spoja. Poznato je da preniska ili previsoka temperatura može negativno utjecati na proces lijepljenja, a time i na kvalitetu lijepljenog spoja.

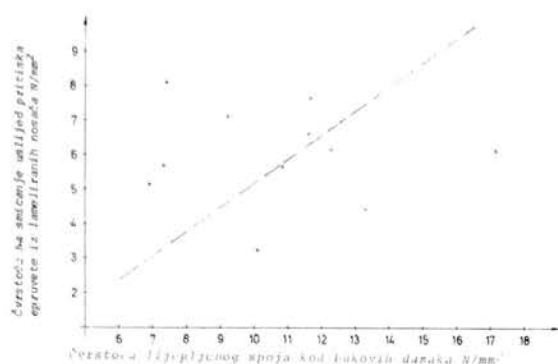


Slika 12. Odnos relativne deformacije i naprezanja kod materijala
Fig. 12 Relation between the relative deformation and the strain in materials

Vrsta ljepila i čvrstoća lijepljenog spoja, koja je ovisna o kvaliteti samog ljepila, vrlo su utjecajni faktori kod proizvodnje lameliranih nosača. Čvrstoća nosača i njegova elastičnost usko su vezani za elastičnost samog ljepila. Čvrstoća lijepljenog spoja kod lameliranih nosača ili bukovih dasaka je kvalitetna ako se proizvođač pridržava uvjeta lijepljenja, a korelacija između njih je linearna (sl. 13).

Hookov zakon za spoj drvo-ljepilo daje jasnu sliku o njihovom odnosu i međusobnoj ovisnosti.

Kod opterećenja lameliranih konstrukcija, odnosno nosača, doći će uslijed naprezanja do deformacije drva i lijepljenog spoja. Ako je ljepilo sposobno da prati ove deformacije, tada se može reći da je spoj dobar, odnosno, ako nije sposobno, tj. ako lom nastupa po ljepilu, a ne po drvu, kaže se da spoj ne zadovoljava.



Slika 13. Odnos čvrstoće lijepljenog spoja ispitane na bukovim daskama i čvrstoće na smicanje uslijed pritiska kod ispitane epruvete rađene istim ljepljivom.

Fig. 13 Relation between the strength of glued joint tested on beech boards and shear strength under effect of pressure at the tested tube made by equal glue.

Do pucanja u sloju drva dolazi ako je modul elastičnosti drva veći od modula elastičnosti ljepljiva. Prema Hookovu zakonu za ljepljivo imamo:

$$\sigma_{\text{ljepljivo}} = E_{\text{ljepljivo}} \times \epsilon_{\text{ljepljivo}}$$

odnosno za drvo:

$$\sigma_{\text{drvo}} = E_{\text{drvo}} \times \epsilon_{\text{drvo}}$$

gdje su:

- $\sigma_{\text{ljepljivo}}$ = naprezanja ljepljiva u krutom stanju
- $E_{\text{ljepljivo}}$ = modul elastičnosti ljepljiva u krutom stanju
- $\epsilon_{\text{ljepljivo}}$ = deformacija ljepljiva u krutom stanju
- σ_{drvo} = naprezanje drva
- E_{drvo} = modul elastičnosti drva
- ϵ_{drvo} = deformacija drva.

Zadovoljavajuće rezultate daje uzorak ako je nastupio lom po drvu, pa iz toga slijedi da krutost ljepljiva treba biti manja ili jednaka krutosti drva.

$$\frac{\sigma_{\text{drvo}}}{E_{\text{drvo}}} \geq \frac{\sigma_{\text{ljepljivo}}}{E_{\text{ljepljivo}}}$$

Poznati dijagram, gdje se pokazuje odnos relativne deformacije i naprezanja iz Hookova zakona (sl. 12), daje jasnu sliku o tim odnosima.

4.3. Ovisnost rezultata dobivenih ispitivanjem o kvaliteti izrade nosača

Vrlo često, kod ispitivanja epruveta iz lameliranih nosača, uočavaju se razne nedopuštene greške kod slaganja lamela (vidi točku 2.1.). Istraživanja koja su vršili C.M. Marx i R.C. Moody (USDA Forest Serv. Forest Prod. Labor. Madison), u suradnji s američkim Institucijom za drv-

ne konstrukcije, Englewood, potvrdila su da su kvaliteta lamela i njihova građa vrlo utjecajni faktori, što znači da se kod slaganja lamela mora obratiti pažnja na kvalitetu susjedne lamele s obzirom na kvrge, zupčasti spoj, veličinu goda i sl. Očito je da su nosači najslabiji na mjestima gdje se sastavljaju dvije lamele sa sličnom greškom ili gdje su zupčasti spojevi blizu jedan drugom. Kontrola lamele neposredno prije nanošenja ljepljiva i kod slaganja lamele neophodno je potrebna i vrlo važna.

Radnik koji je odgovoran za kontrolu lamela kroz cijeli proces proizvodnje mora obratiti pažnju na lamele prije nanošenja ljepljiva. Kod ispitivanja epruveta treba isključiti epruvete s greškama u drvu koje se ne mogu primijetiti prije ispitivanja, već se uoče tek nakon kidanja. Vrlo se često kod epruveta koje izdrže veliku silu (preko 28.000 N) vidi da je struktura sve tri lamele vrlo dobra i da nemaju nikakve greške niti na zupčastim spojevima niti sl., što potvrđuje utjecaj naprijed navedenog faktora na ispitivanje. Kod zupčastih spojeva primjećuje se, ako je zupčasti spoj lijepljen nekim drugim ljepljivom, a ne onim kojim se lijepe lamele, da gotovo uvijek dolazi do loma na tom mjestu. Stoga je poželjno da se zupčasti spojevi lamela spajaju ljepljivima sličnim onima kojima se lijepe nosači. Osim toga, treba odstraniti ljepljivo s površine zupčastog spoja da bi se omogućio bolji spoj na tim mjestima. Istraživanje computerske obrade rezultata C. M. Marxa i R. C. Moodya pokazala su da greške u lamelama smanjuju kvalitetu nosača i do 30%.

Na temelju iskustava kod ispitivanja epruveta, može se nakon njihova razgledavanja poslije ispitivanja reći o kakvom stupnju kontrole lamela i o kakvom propustu u procesu se radi.

ZAKLJUČAK

S obzirom na vrlo široko područje primjene lameliranih lijepljenih nosača, važno je redovno ispitivati kvalitetu i uvesti kontinuiranu pogonsku kontrolu kvalitete. Niz utjecajnih faktora na kvalitetu lameliranih nosača može se eliminirati redovnim ispitivanjem i pogonskom kontrolom. Uskom suradnjom između proizvođača i ustanove ovlaštene za ispitivanje i izdavanje izvještaja o kvaliteti nosača mogu se izbjeći neugodne posljedice grešaka u tehnološkom procesu proizvodnje. Iskustva ispitivača i proizvođača nosača pokazala su da postojeće metode ispitivanja epruveta iz nosača, ako su dobro izrađeni i kontrolirani prije ispitivanja, daju realnu sliku o kvaliteti lijepljenja i o kvaliteti ugrađenog drva, a time i o kvaliteti nosača.

Ispitivanja su pokazala da postoji uska veza između kvalitete upotrijebljenog drva, odnosno lamele i čvrstoće na smicanje uslijed pritiska lijepljenog spoja. Ispitivanje lijepljenog spoja ep-

ruvete može biti vrlo dobar pokazatelj kvalitete nosača ako su epruvete dobro izrađene i ako je neposredno prije ispitivanja izvršena kontrola položaja epruvete na nosaču prije primjene sile. To potvrđuje i ustanovljena čvrstoća na smicanje uslijed pritiska epruvete kod tri uvjeta kondicioniranja TD-1, TD5-7, TD5-8, što daje kompletnu sliku o kvaliteti nosača. Sigurne i kvalitetne lamelirane nosače može se dobiti samo upotrebom kvalitetnog drva, primjenom kvalitetnog procesa lijepljenja, redovnom kontrolom cijelog procesa proizvodnje i kontinuiranim ispitivanjem.

Potrebno je pridržavati se propisa o ugradnji lamela i debljini lamela prema namjeni upotrebe i obliku nosača.

LITERATURA:

- [1] * * *: ASTM D.1101/81, D.1916/69, D.2559/76, D.3737/78, D.198/74.
- [2] * * *: BS 4169
- [3] * * *: DIN 5324
- [4] * * *: JUS D.A1041 . . .048, D.EL.010 H.K2040 i H.K8.024
- [5] HORVAT, I., KRPAN, J.: Drvno industrijski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb, 1967.
- [6] LESIC, L.: Drvene lijepljene lamelirane konstrukcije. Drvarski glasnik, 25 (1977), br. 9.
- [7] PETROVIC, S.: Kontrola kvalitete lijepljenja kod lameliranih konstrukcija. Simpozij »Standardizacija građevinskih materijala«. DUSH-a, Opatija 1980.
- [8] VRANKO, A., PETROVIC, S.: Neka iskustva iz primjene domaćih lepila u proizvodnji lijepljenih drvenih konstrukcija. Simpozij »Drvene inženjerske konstrukcije i njihova sigurnost.« Cavtat, 1977.

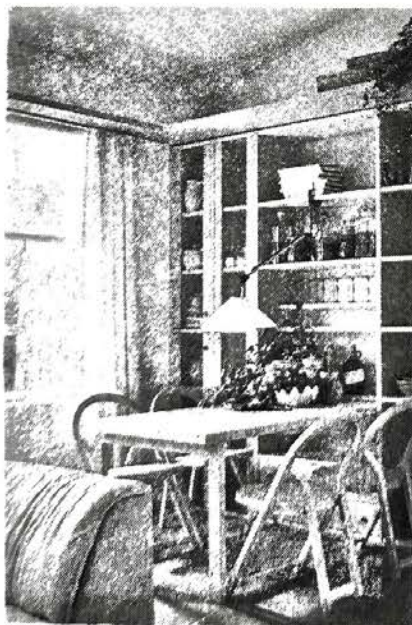
Recenzent:
mr S. Petrović



Karbon

KEMIJSKA INDUSTRIJA ZAGREB

NOVI DRVOFIXI



Za potrebe tehničke informacije stoji vam na usluzi Služba primjene RO »KARBON«

» K A R B O N « KEMIJSKA INDUSTRIJA ZAGREB, VLAŠKA 67, TEL. 419-222

DRVOFIX UNIVERZAL

Područja primjene:

- Tvornice namještaja: korpusnog, masivnog, kuhinjskog i komadnog
- Tvornice drvnih ploča: panel-ploča, furnirskih ploča. Oplemenjivanje ploča ultrapasom, PVC-folijom i dekorativnim papirnim folijama
- Tvornice stolica i stolova
- Tvornice lamel-parketa i drvnih podnih podloga

DRVOFIX SPECIJAL GS

Područje primjene:

- Tvornice građevne stolarije

DRVOFIX SPECIJAL VF

Područja primjene:

- Izrada drvnih laminata
- Oplemenjivanje drvnih ploča folijama