

Stjepan Tkalec, Silvana Prekrat, Marko Žmire

Ugaono spajanje bukovine klinastim zupcima

Beechwood finger-joints applied at an angle

Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper

Prispjelo - received: 16.09.1997. • Prihvaćeno - accepted: 08.10.1997.

UDK 630 824.8:856.1*

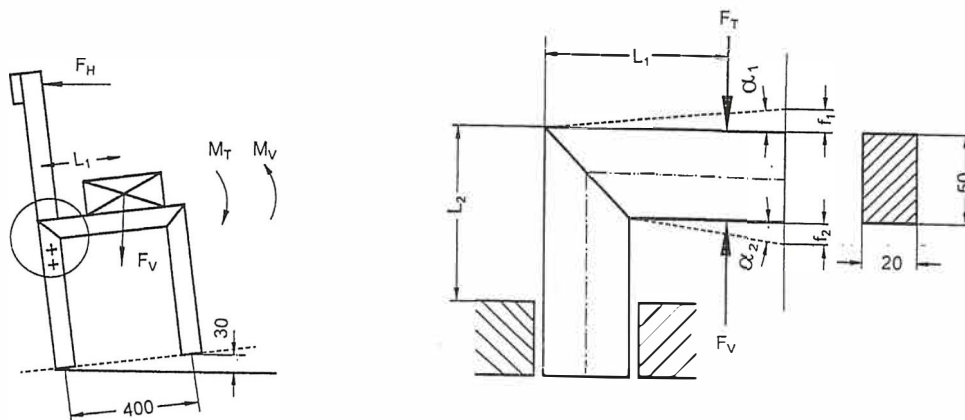
SAŽETAK • U radu se predaju rezultati istraživanja nekih fizičko-mehaničkih svojstava spojeva ostvarenih klinastim zupcima pod kutom 45° izrađenih od bukovine (*Fagus silvatica*, L.). Dosadašnja istraživanja pretežno se odnose na podužno spajanje drva četinjača, dok su znanstveni rezultati o spajanju drva listača te spajanju pod kutom manje zastupljena. U sklopu rada proveden je pokus sa spojevima napravljenim klinastim zupcima duljine 7,5 i 10 mm kojima je ispitivana izdržljivost na statička i dinamička opterećenja. Statički moment sile kod zubaca od 7,5 mm bio je 35,7 % veći od onoga u zubaca duljine 10 mm. Tijekom dinamičkih opterećivanja veličina momenata sile različito je utjecala na veličinu otklona okvirnica i izdržljivost spojeva na broj impulsa sila. Nagibna krutost spojeva, kao odnos momenata sile i otklona okvirnice u manjih je zubaca 18,4% veća. Ispitivanja na dinamičko-statička opterećenja pokazala su da zamaranja spojeva djelovanjem naizmjeničnih momenata do 10 000 ciklusa neznatno gube na čvrstoći na statička opterećenja.

Ključne riječi: drvene konstrukcije namještaja, spojevi klinastim zupcima, statička i dinamička opterećenja, čvrstoća i izdržljivost spojeva

SUMMARY • The paper presents the results of the research done on some physical and mechanical properties of the beechwood (*Fagus silvatica*, L) finger joints applied at an angle of 45° . With the previous research mainly referring to the lengthwise joining of softwoods, the scientific results about hardwoods and angle-joining has been scarce. We have done tests for durability and both static and dynamic load with finger joints, 7.5 and 10mm in length. The static moment of force with the 7.5 mm finger joints was by 35.7% higher than with the 10 mm joints. During the dynamic loading, the values of the moments

Autori su profesor i asistentica na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, te tehnolog u SPIN-VALIS, Požega, Hrvatska.

Authors are professor and an assistant at the Faculty of Forestry of the Zagreb University and a technologist at the SPIN-VALIS, Požega, Croatia, respectively.



Slika 1.
Prikaz uzorka za ispitivanje izvedenog prema modelu nožišta stolice • Test samples for a model of a chair legging

rješenja sve više nameću manje dimenzije presjeka dijelova za koje klasični spojevi moždanicima ili čepovima manje zadovoljavaju dok su, nasuprot tome, iskustva o spajanju tvrda drva klinastim zupcima još nedovoljno poznata, osobito za proizvode od kojih se očekuju veća dinamička opterećenja, npr. namještaj za sjedenje.

Ograničena primjena klinastih zubaca u proizvodnji masivnog namještaja dijelom je rezultat nedovoljnog poznavanja tehničkih svojstava tih spojeva, a dijelom činjenice da proizvodni pogoni ne raspolažu tehnološkom opremom za uspješnu primjenu takvog načina spajanja. Zadaća ovog rada bilo je laboratorijsko ispitivanje izdržljivosti statičkih i dinamičkih opterećenja klinastozupčastih spojeva duljine 7,5 i 10 mm na bukovini odnosno ispitivanje najbitnijih obilježja namještaja za sjedenje. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao temelj daljnjim istraživanjima te problematike, odnosno mogu se neposredno primijeniti u oblik-

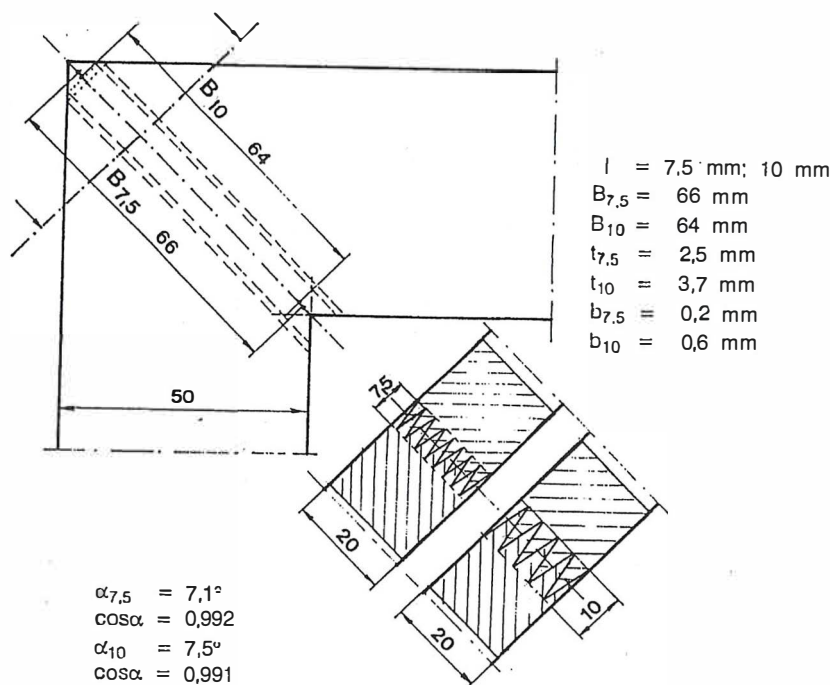
ovanju novih konstrukcijskih rješenja pri ugaonom spajanju drva tvrdih listača, a prema otprije poznatim statičkim ili dinamičkim opterećenjima koja se očekuju u uvjetima njihove primjene.

3. METODA RADA 3. Research method

3.1. Određivanje i izrada uzoraka 3.1. Determination and preparation of the samples

Uzorci za ispitivanje izrađeni su od bukovine prosječne širine goda 1,34 mm, gustoće 0,66...0,74 g/cm³ i sadržaja vlage 8,2...10,1 %; čvrstoće na savijanje 97,8...132,7 Mpa.

Uzorci L-oblika izvedeni su prema modelu stolice prikazane na slici 1. Izblanjani profili 50x20 mm skraćeni su na duljinu 250 mm, skošeni na jednom kraju pod kutom od 45°, na kojemu su alatima tvrtke Metal World - Italija izrađeni zupci duljine 7,5 i 10



Slika 2.
Oblik i dimenzije klinastih zubaca ispitivanih uzoraka • Shape and dimensions of finger joints in test samples

mm kao što je vidljivo na slici 2. Ljepilo Titebond 50 tvrtke Franklin International iz SAD-a obostrano je nanoseno na sljubnice u prosječnom nanosu 140 g/m^2 po sljubnici. Ugaoni je spoj stegnut pneumatskom prešom pritiskom 1200 N/cm^2 prema uputama DIN-a 68140. Uzorci su izrađeni u Tvornici namještaja SPIN VALIS d.d. - Požega, Hrvatska.

Nakon lijepljenja uzorci su osušeni, klimatizirani i ispitani u laboratoriju Zavoda za konstrukcije i tehnologiju proizvoda od drva Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

3.2. Ispitivanje na statička opterećenja 3.2. The tests on the static load

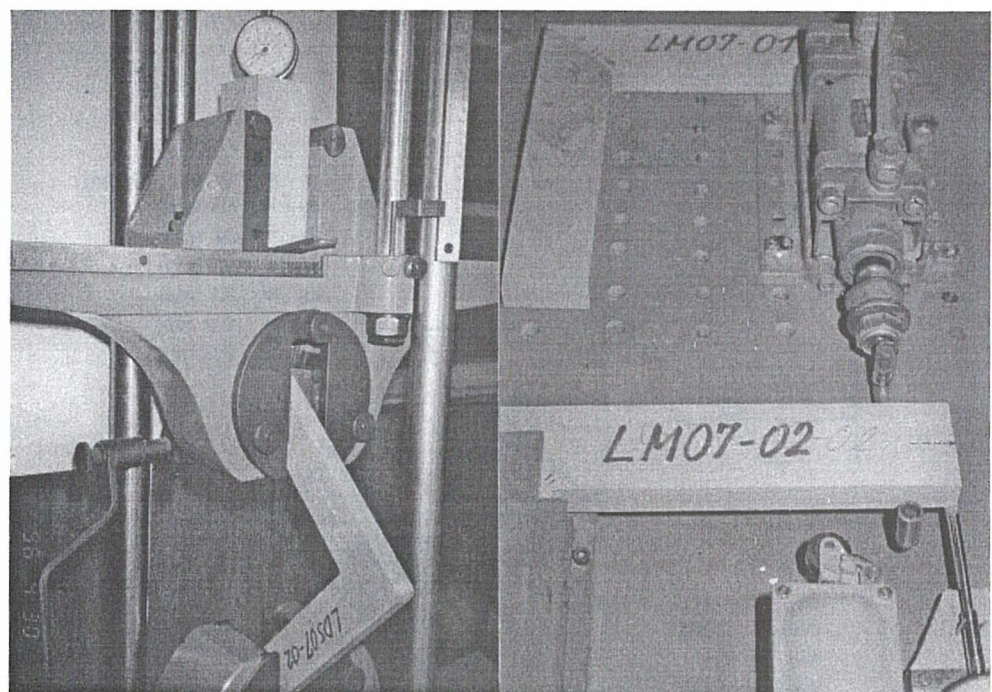
Ispitivana je trajna statička čvrstoća slijepljenih uzoraka oznake LS, na kojima zbog trajnog opterećenja dolazi do puzanja. Naprezanje u spoju pri kojem se puzanje zaustavlja naziva se trajnom čvrstoćom. Zbog dugotrajnosti takvog ispitivanja u ovom je radu proveden skraćeni ispitni postupak. Uzorci L-oblika ispitivani su pomoću hidrauličke kidalice Amsler tvrtke Wolpert iz Njemačke. Prihvat uzoraka odabran je prema položaju i smjeru djelovanja vlačne sile F_v na krakovima duljine L_1 . Dosadašnja ispitivanja sličnih spojeva R. Hütnera i P. Binieka (4,8) pokazala su da su vlačna statička opterećenja istih spojeva dala slabije rezultate čvrstoće pri tlačnim naprezanjima. U ovom je radu primijenjena metoda vlačnih opterećenja radi utvrđivanja najnižih vrijednosti čvrstoće spojeva, jer su ona za praksu važnija. Položaj uzorka u kidalici prikazan je na slici 3. lijevo.

3.3. Ispitivanje na dinamička opterećenja 3.3. The tests on the dynamic load

Ispitivanje dinamičke čvrstoće osobito je bitno provoditi na konstrukcijama koje su u uporabi nejednoliko dinamički opterećene. Neka su istraživanja pokazala da su takve konstrukcije manje izdržljive od onih koje su ispitivane na jednolika opterećenja. Za ispitivanje uzoraka oznake LD primijenjen je režim sličan ispitivanju stolica prema hrvatskoj normi HRN D. E2. 201. za određivanje izdržljivosti stolica na dinamička opterećenja. Uređaj za dinamička opterećenja prikazan je na slici 3. desno, prilagođen je djelovanju naizmjenične sile na horizontalnu okvirmicu sjedala stolice, tj. na krak prikazanog modela na slici 1. Prema tom režimu svakih 2,5 sekunde djeluje naizmjenično tlačna sila F_t , odnosno vlačna sila F_v . U laboratorijskom se ispitivanju gotove stolice javlja dodatni impuls sile, koji se u sklopu te metode može zanemariti. Moment sile $M_{t,v}$ kojim se djelovalo na krak prilagođivan je za tri razine, i to za 700, 988 i 1270 daNcm. Pri djelovanju određenog momenta na okvirmicu do trenutka loma, bilježeno je nastajanje veličine otklona okvirmice $\alpha_1 + \alpha_2$. Izdržljivost ugaonog spoja ovisio je o veličini djelovanja sile i broju djelovanja naizmjeničnih opterećenja. Njihajno dinamičko opterećenje uzrokovalo je naprezanja u spoju od ρ_0 do ρ_{maks} pri tlačnom, odnosno vlačnom naprezanju. Ovisnost naprezanja u spoju $\rho_{v,t} = f(F)$ predočuje se Wöhlerovom krivuljom, koja se pri određenom broju djelovanja sile približava stalnoj vrijednosti $\% \rho_d$ kojom određujemo dinamičku čvrstoću.

Slika 3.

Uređaji za ispitivanje čvrstoće spojeva na statička opterećenja, (lijevo) i dinamička opterećenja, (desno) • Devices for testing static loadings (left) and dynamic loadings (right)



3.4. Ispitivanja na dinamička i statička opterećenja

3.4. The tests on the dynamic and static load

Dugotrajna dinamička ispitivanja mogu se skratiti ako se usporedno provedu dinamička i statička ispitivanja. Povećanje amplitude naprezanja $\rho_{v,t}$ pri dinamičkom opterećenju skraćuje vrijeme do loma konstrukcije ρ_{maks} . Međutim obilježja takvog eksperimenta ne daju nam pouzdane podatke za uspoređivanje s konkretnim proizvodom kao što su stolice, ako oni nisu dovedeni u vezu s podacima o laboratorijskim ispitivanjima i normiranim kriterijima. Dinamički, a zatim statički opterećivani uzorci, otkrivaju veličinu oslabljenja spoja koje je nastalo tijekom dinamičkih opterećenja. Tako se usporednim ispitivanjem uzoraka na dinamička i statička opterećenja dobiju podaci o oslabljenju spoja pri određenom režimu djelovanja dinamičkih opterećenja. Uzorci za dinamičko-statička ispitivanja LDS-a sa zupcima duljine 7,5 i 10 mm, dinamički su ispitivani momentom sile od 1 270 daNcm na tri razine djelovanja na oko 2 500, 5 000 i 10 000 ciklusa naizmjeničnih opterećenja. Zatim su uzorci ispitivani na kidalici radi utvrđivanja statičke čvrstoće.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4. Research results

Ispitivanja na statička opterećenja provedena su statičkim momentom vlačne sile loma. Podaci su prikazani intervalnom procjenom momenata sile loma u rasponu od najmanje do najveće vrijednosti, odnosno u rasponu od 25 do 75% podataka.

Prema podacima u tablici 1. manji su zupci za jednak presjek pokazali okvirmice veću čvrstoću za 35,7%, jer je ukupna

površina lijepljenja veća za 13,2%, a kut otklona vlaknaca, tj. kut r žiba zubaca je 0,4% manji od zubaca duljine 10 mm.

	LS 7,5 mm	LS 10 mm
ML (daNcm)	5 536	3 558
fL (mm)	6,03	4,87
L(o)	1,788	1,409
Cn (daNcm/o)	3 096	2 525

Nagibna krutost spoja Cn, koja se izražava odnosom momenta loma i kuta nagiba okvirmice, u manjih je zubaca bila veća za 18,4%.

Na slici 4. dana je usporedba rezultata ispitivanja spojeva napravljenih zupcima duljine 7,5 i 10 mm na statička i dinamičko-statička opterećenja u intervalnim procjenama.

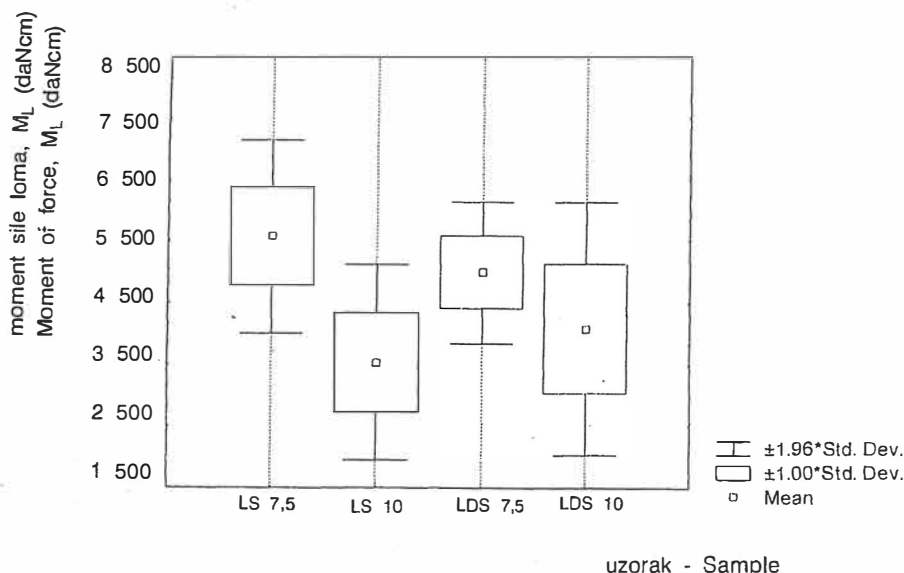
Intervalne procjene očekivanja prosječne vrijednosti momenta loma M_L pokazuju da nema značajnih razlika u rasipanju podataka oko srednje vrijednosti osim za uzorak DS10, no te se razlike mogu tumačiti eventualnim greškama pri lijepljenju. Srednje vrijednosti pokazuju veću čvrstoću spojeva ostvarenih zupcima duljine 7,5 mm, kao i neočekivano mali utjecaj početnih dinamičkih opterećenja 2 500...10 000 ciklusa na smanjenje statičke čvrstoće obaju spojeva.

Slika 5. pokazuje usporedbu rezultata ispitivanja nagibne krutosti C_n , spojeva duljine 7,5 mm i 10 mm opterećivanih na statička i dinamičko-statička opterećenja.

Utvrđeno je da početna dinamička opterećenja smanjuju nagibnu krutost kod jednih i drugih zubaca. Određeniji bi rezultati bili dobiveni ispitivanjem s povećanim brojem ciklusa. Rezultati ispitivanja

Tablica 1.

Prosječne vrijednosti momenta loma M_L i veličine progiba u trenutku loma f_L , stupnja otklona L , te nagibne krutosti C_n • Mean values of the moment of failure M_L ; the deflection at the moment of failure f_L ; magnitude of declination L , and the slant stiffness C_n

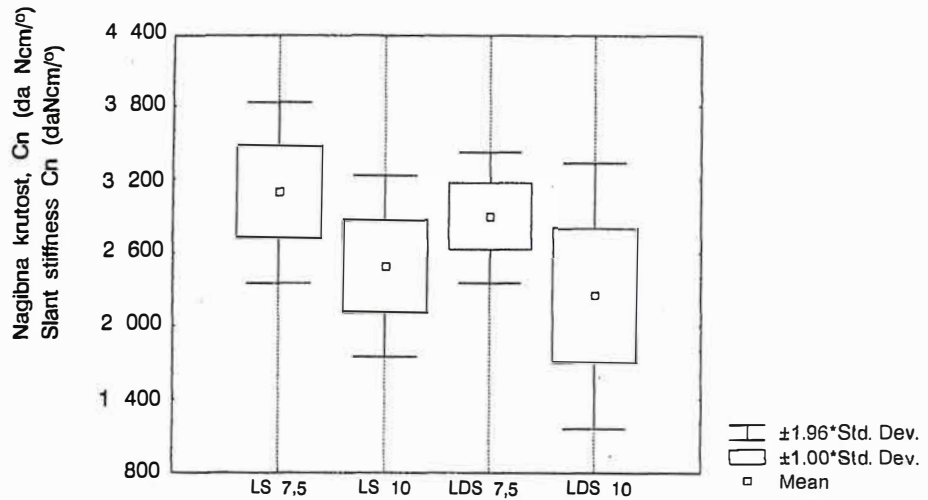


Slika 4.

Usporedba intervalnih procjena momenata sile loma za spojeve ostvarene zupcima duljine 7,5 i 10 mm na statička i dinamičko-statička opterećenja. • Comparison of interval estimates of moment of force for 7.5 mm and 10 mm static and dynamic loadings

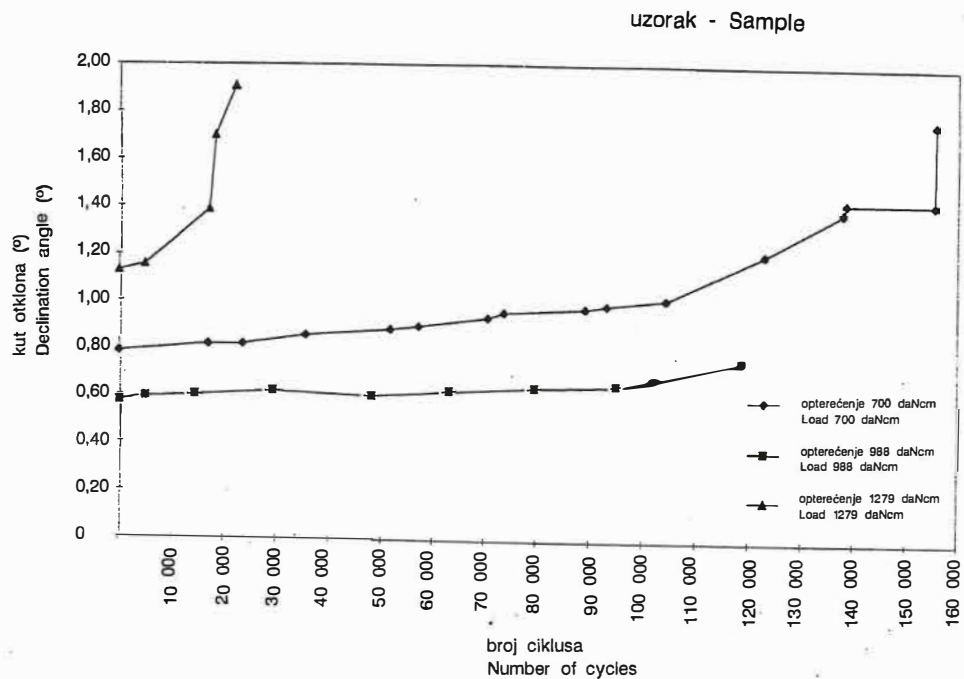
Slika 5.

Usporedba intervalnih procjena nagibne krutosti spojeva Cn, ostvarenih zupcima duljine 7.5 i 10 mm opterećivanih statičkim i dinamičko-statičkim opterećenjima • Comparison of interval estimates of moment of slant stiffness of the 7.5 mm and 10 mm Cn joints when exposed to static and dynamic loads



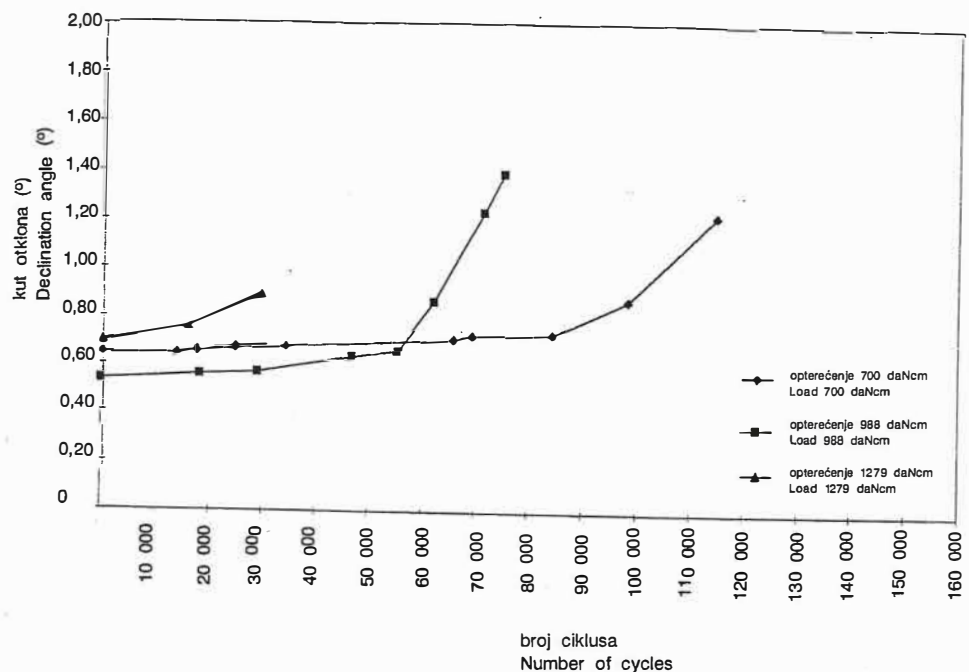
Slika 6.

Prikaz ovisnosti kuta otklona o broju ciklusa nastaloga djelovanjem momenta sile M_D na tri razine za zupce duljine 7.5 mm • Declination angle depending on the number of cycles created through the three-level impact of the moment of force M_D upon the 7.5 mm joints



Slika 7.

Prikaz ovisnosti kuta otklona o broju ciklusa nastaloga djelovanjem momenta sile M_D na tri razine za zupce duljine 10 mm • Declination angle depending on the number of cycles created through the three-level impact of the moment of force M_D upon the 10 mm joints



	Mt,v (daNcm)	Broj djelovanja ciklusa	
I.	700	155 510	14 840
II.	988	118 260	75 300
III.	1 279	22 034	29 303

Tablica 2.

Prosječne vrijednosti broja naizmjeničnih djelovanja momenata sile $M_{t,v}$ na tri razine do loma ugaonih spojeva. • Mean values of the cycles of moment of force impacts $M_{t,v}$ at three levels up to the failure of corner joints

izdržljivosti spojeva na dinamička opterećenja prikazana su na slici 6. za zupce duljine 7,5 mm, te na slici 7. za zupce duljine 10 mm.

Uspoređene su krivulje koje pokazuju ovisnost kuta otklona spojenih okvirnica o broju ciklusa djelovanja momenata sile $M_{t,v}$ na tri razine. Pritom su zupci od 7,5 mm pokazali veću izdržljivost na broj dinamičkih impulsa, bez obzira na malu početnu razliku ukupnog otklona okvirnica. Veća krutost spojeva sa zupcima 7,5 mm također je iskazana oblikom krivulja, osobito na razini momenata od 700 i 980 daNcm.

5. ZAKLJUČAK

5. Discussion

Provedena ispitivanja dala su rezultate u skladu s postavljenim ciljevima. Potvrđene su i neke spoznaje iz dosadašnjih radova istraživača koji su proučavali ugaone spojeve i uspoređivali ih s drugim načinima ugaonog spajanja bukovine.

Uspoređujući normirane uvjete za dinamičku čvrstoću stolica visoke uvjete kvalitete prema normi HRN D.E8.201, te primjenjujući malo veći moment sile za uspoređivanje sa stolicama koje se ispituju po navedenoj normi, za jednu stranicu stolice utvrđena je:

- normirana izdržljivost za $M_d=700$ daNcm; 2,5 s/ciklusu; 60 000 ciklusa do loma
- izdržljivost zubaca 10 mm; $M_d=988$ daNcm; 2,5 s/ciklusu; 75 300 ciklusa do loma
- izdržljivost zubaca 7,5 mm; $M_d=988$ daNcm, 2,5 s/ciklusu; 118 260 ciklusa do loma

Na temelju dobivenih rezultata može se pretpostaviti da mali zupci duljine 7,5 i 10 mm mogu zadovoljiti normirani uvjet kvalitete.

Cilj ispitivanja izdržljivosti na dinamička opterećenja bio je isključivo kvalitativni pokazatelj, a zbog premalog broja uzoraka nije ispitivana signifikantnost rezultata. Stoga je nužno nastaviti ispitivanja.

6. LITERATURA

6. References

1. Rajčan, J., Koželouh, B. 1963: Beitrag zum entwerfen geklebter keilzinkverbindungen, Holztechnologie 4, 3, Leipzig, s. 222 -228
2. Marian, J.E. 1968: Ein neues verfahren für die keilzinkung, Holz als Roh und Werkstoff, 26, 2, str. 41-45.
3. Ivansson, B.O. Ström, H. 1968: Grundlegende untersuchungen zu einem neuen verfahren der keilzinkung, Holz als Roh und Werkstoff 26, 3, str. 77-8
4. Hüther, R.1970: Minizinken verbindung an massivholzrahmenecken, Holz-Zentralblatt 90, Leinfelden
5. Hitrec, V.1977: Mjerenje u drvnoj industriji, skripta, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-218.
6. Ljuljka, B.1978: Lijepljenje u tehnologiji finalnih proizvoda, skripta, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-218.
7. Berger, A.U. 1979: Holzfenster mit minizinken fehlentwiclung other rationalisierung schance, Bau und Möbelschreiner 3/79, str. 61-64.
8. Biniek, P.1981: Festigkeitsprüfung anordnung der keilzinken in verbindungen, Holztechnologie 22, 1, str. 41-44.
9. Tkalec, S.1992: Ispitivanje čvrstoće ugaonih spojeva uklađenih vrata, Drvna industrija 43, 1, Zagreb, str. 4-6.
10. Bandel, A. 1995: Gluing wood, Catas s.r.l., Udine, str. 1-301
11. Prekrat, s. 1996: Čvrstoća spojeva u konstrukcijama stolica, magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-91.
12. Žmire, M. 1996.: Primjena spojeva klinastim zupcima u konstrukcijama stolica, magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-101.
13. Norme DIN 68140; HRN. D.E2.100; HRN.D.E8.201