

Silvana Prekrat, Nikola Španić¹

Znanstvene metode određivanja drvnih konstrukcija kutnih sastava

Scientific Methods for Determination of Wooden Corner Joint Designs

Pregledni rad • Review paper

Prispjelo – received: 15. 7. 2009.

Prihvaćeno – accepted: 18. 11. 2009.

UDK: 630*824.1; 674.028

SAŽETAK • U današnjim uvjetima potrošačkog mentaliteta posebno je izražena potreba za konkurentnošću i profitom u proizvodnji namještaja. U fazama projektiranja od konstruktora se očekuje brz, pouzdan i financijski isplativ izbor konstrukcijskih rješenja, usklađenih s ponuđenim dizajnerskim rješenjem. Način utvrđivanja kvalitativnih svojstava konstrukcije prema propisanim normama za ispitivanje namještaja sve češće zamjenjuju simulacijski modeli ispitivanja konstrukcije.

U radu se obrađuju metode ispitivanja određenih konstrukcija namještaja na primjeru kutnih konstrukcijskih oblika sastavljanja, u kojima se primjenjuje ovaj način sastavljanja. Pri tome su prikazana i usustavljena istraživanja s provedenim analizama činitelja koji utječu na kvalitetu namještaja.

Budući da nisu pronađeni idealni računalni modeli koji bi mogli zamjeniti stvarna ispitivanja konstrukcijskih sastava, može se očekivati da će se u budućnosti više pozornosti usmjeriti na pronalaženje modela za primjenu računalno modeliranih konstrukcijskih rješenja primjenjivih u fazi projektiranja i konstruiranja.

Ključne riječi: namještaj, drvni konstrukcijski sastav, čvrstoća, krutost, računalni modeli

ABSTRACT • At the present time and under current market conditions, where the interest is focused on fast profit, furniture constructor has to offer a fast, reliable and not expensive choice of construction solution according to designer's demands. The way of deformation of construction durability according to regulations and standards for furniture testing is nowadays often replaced with simulation models for construction testing.

This paper presents the analysis of methods for testing construction assemblies. Examples are given for corner joints and furniture having this type of joint.

The results of systematic research are also presented with the analysis of parameters affecting the quality of furniture. Since no precise computational models have been determined that could replace the actual testing of construction assemblies, in future a more intensive research can be expected in finding models for applying computer-based modelling applicable in developing and designing phase of production.

Key words: furniture, wooden construction joint, rigidity, computational models

1. UVOD

1 INTRODUCTION

Na osnovi dizajnerskoga idejno-oblikovnog i funkcionalnog rješenja namještaja konstruktor odabire

prikladna konstrukcijska rješenja prilagođena obličju i namjeni proizvoda. Zbog brzih promjena oblika kao posljedica modnih trendova, te čestog povećanja broja novih materijala, intuitivan način odabira konstrukcijskog rješenja ustupa mjesto znanstvenim metodama

¹ Autori su docentica i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.

¹ Authors are assistant professor and assistant at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.

(Tkalec i Prekrat, 2000). Relativno skupa ispitivanja kvalitete gotovih proizvoda radi određivanja najpovoljnijega konstrukcijskog rješenja danas se zamjenjuju parcijalnim ispitivanjima dijelova i sklopova namještaja. S vremenom je empirijski zaključeno da se vjerodostojni rezultati istraživanja mogu zamjeniti ispitivanjima najopterećenijih sklopova namještaja. U tom je smislu kriterij odabira načina ispitivanja kvalitete namještaja prilagođen načinu upotrebe i podijeljen je u dvije skupine s obzirom na opterećenje, koje može biti statičko ili dinamičko.

Poput građevinske, automobilske, avionske i brodograđevne struke, s razvojem računalne tehnologije omogućena su istraživanja konstrukcija namještaja proračunima. Ovim je načinom istraživanja svojstava sklopova omogućeno određivanje kvalitete u najranijoj fazi, što bitno utječe na smanjenje troškova uvjetovanih popravcima, tj. izmjenom konstrukcijskih rješenja nakon utvrđene nezadovoljavajuće razine tehničke kvalitete ispitivana gotovog proizvoda. Radovi utemeljeni na računalnim proračunima sadržavaju teoretske modele izražene matematičkim formulama.

Kako istraživanja postaju sve brojnija, raste i broj relevantnih podataka kao osnova za buduća istraživanja. Samim time pojavljuje se potreba za sustavnim prikazom postojećih rezultata.

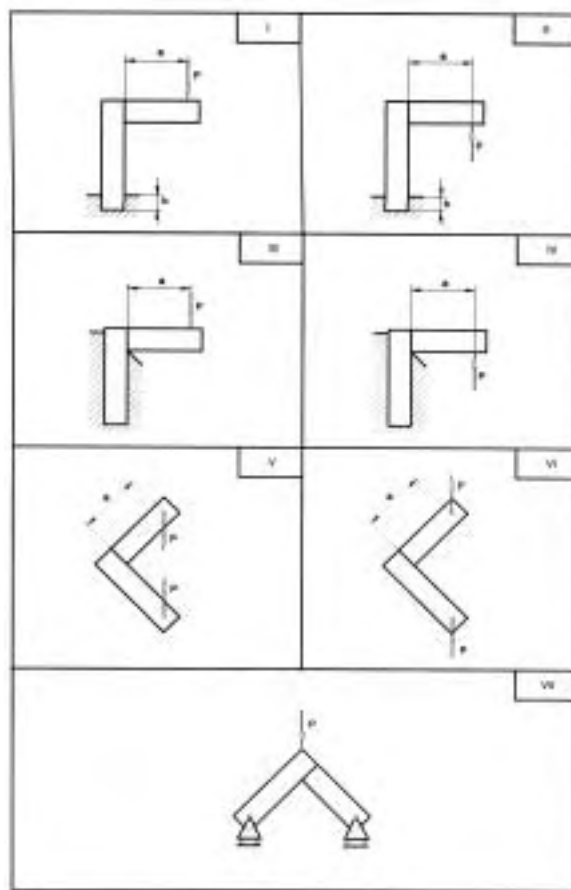
2. METODE ISTRAŽIVANJA TEHNIČKE KVALITETE KONSTRUKCIJSKIH SASTAVA NAMJEŠTAJA

2 METHODS FOR RESEARCH OF TECHNICAL QUALITY OF FURNITURE ASSEMBLIES

Da bi se utvrdila razina tehničke kvalitete, gotovi se proizvodi izlažu ispitivanjima prema opisanim normama za ispitivanje namještaja. Radovi koji opisuju istraživanja provedena na gotovim proizvodima starijeg su datuma i uglavnom se odnose na proizvode manjih dimenzija kao što su stolice i manji ormari (Eckelman i sur. 1969; Dziuba i Kwiatkowski, 1976; Kamenicky, 1982; Dzigielewsky i sur. 1983; Eckelman, 1989; Tkalec i Prekrat, 1997). Njihov je doprinos potvrda mogućnosti izvođenja parcijalnog ispitivanja sastava, što omogućuje jeftiniji i brži postupak dobivanja rezultata.

Osim istraživanja objavljenih na proizvodima, ispitivanja kojima se istražuje tehnička kvaliteta odnose se na konstrukcijske sastave koji se dijele u dvije skupine: nerastavljive, odnosno spojeve, i rastavljive, odnosno vezove. Najčešće su i dosadašnji radovi podijeljeni u te skupine, no sve se češće pojavljuju radovi koji obuhvaćaju istraživanja konstrukcija nastalih kombinacijom spojeva i vezova.

Osim navedene podjele, radovi obrađuju različite kriterije kvalitete koja je u konstrukcijskom smislu definirana izdržljivošću konstrukcije. Neka od istraživanja obuhvaćaju više od jednog čimbenika, pa ih je katkad teško raščlaniti prema jednome od navedenih kriterija. Način na koji se odabire metoda ispitivanja ovisi o načinu upotrebe namještaja, tj. o opterećenju u stvarnim uvjetima korištenja, a metoda je podijeljena na statička i dinamička ispitivanja. U skladu s tim primjeri



Slika 1. Konstrukcijski oblici (L) kutnih spojeva ispitivani na statička opterećenja

Figure 1 Construction type (L) corner joints tested on static load

kutnog sastavljanja opisani u ovom radu podijeljeni su na kutno bočne ili okvirne i kutno plošne ili korpusne.

Primjer pregleda načina ispitivanja kutnih spojeva na statička opterećenja (sl. 1) u svom radu iznosi Warmbier (1997), koji proučava razlike između dobivenih rezultata momenta sile loma zbog različitih položaja i načina primjene opterećenja istovrsnih uzoraka.

2.1. Istraživanja utjecaja konstrukcijskih čimbenika

2.1 Research of construction parameters

Budući da je konstrukcijsko rješenje određeno dizajnerskim oblikovnim rješenjem, česta su istraživanja provedena na dimenzijski istovrsnim uzorcima sastavljenima na različite načine, pri čemu su upotrijebljeni različiti spojni ili vezni elementi, od kojih su najčešći zaobljeni čep u podužnoj rupi, utor i pero, moždanici, čepovi i raskoli, umeci, vijci i svornjaci. U ovim su istraživanjima promatrani utjecaji vrste, geometrije, tj. oblika spojnih elemenata te njihove dimenzije (Richards, 1962; Korzienowski, 1968, 1974, 1984; Eckelman, 1970; Dzigielewski i Zenkteler, 1975; Vince 1975; Tkalec i sur., 1997). Gotovo u svim radovima istaknuta je važnost površine lijepljenja kao najvažnijeg kriterija postignute čvrstoće. U radu Prekrat i sur. (2004) uz spomenutu je tvrdnju dokazano da je inoviranim sastavom promijenjene geometrije (sl. 2, 3 i 4) i manjom površinom lijepljenja moguće postići jednake ili čak bolje rezultate.



Slika 2. Kutni konstrukcijski oblik sastavljanja noge stolice s bočnom i stražnjom okvircicom sastavljene zaobljenim čepom sa skošenim sučeljem u podužno glodanim rupama
Figure 2 Round-head mortise diagonally shortened in the tennons with lenthwise hole



Slika 3. Kutni konstrukcijski oblik sastavljanja noge stolice s bočnom i stražnjom okvircicom pri čemu je bočna okvircica spojena zaobljenim čepom s umecima, a stražnja zaobljenim čepom i utorom
Figure 3 Round-head mortise with bolts

Opisanom je konstrukcijom postignuta racionalizacija materijala smanjenjem poprečnog presjeka noge sa 45 x 45 mm na 26 x 26 mm. Također je dokazana tvrdnja da je moguće postići veću čvrstoću uz gotovo identičnu površinu lijepljenja (tabl. 1).

2.2. Utjecaj tehnoloških čimbenika

2.2 Influence of technological parameters

Već je navedeno da je za čvrstu lijepljenu konstrukciju potrebno osigurati što veću površinu lijepljenja, elemente lijepiti u paralelnom položaju vlakancima te izbjegavati lijepljenje pod kutom. Budući da je te uvjete pri kutnom spajanju nemoguće poštovati, autori su istražili druge čimbenike koji mogu pridonijeti čvrstoći konstrukcije. Biniak i Smardzewski (1987) ustanovili su da je s povećanjem vlage s 11,6 na 18,1% čvrstoća smanjuje za 15%, a pri povećanju na 35% za čak 75%. Utjecaj tehnike nanošenja ljepila istražio je Dzięgielewski (1991), koji je dokazao varijaciju čvrstoće od 18% ovisno o načinu nanošenja ljepila. Utjecaj ljepila u konstrukciji istraživali su Tankut i Tankut (2004), pri čemu su ispitivali vlačnu i tlačnu čvrstoću kutno plošnih uzoraka od MDF-a i furnirske ploče spojenih eliptičnim umetkom. Rezultati su potvrdili ispitivanja Zhanga i Eckelmana (1993), koji su dokazali slabije rezultate tlačno opterećenih kutnih uzoraka za oba materijala.

2.3. Distribucija napreznja u konstrukcijskim sastavima namještaja

2.3 Distribution in furniture construction assemblies

Statistički neodređene prostorne strukture konstrukcija namještaja reducirane su na tip položenih ok-



Slika 4. Kutni konstrukcijski oblik sastavljanja noge stolice s bočnom i stražnjom okvircicom od kojih je bočna okvircica spojena zaobljenim čepom, a stražnja okruglim čepovima, vijkom i T (unit) maticom
Figure 4 Round-head mortise in combination with dowel, through-bolt and T unit

virnih konstrukcija (Eckelman, 1970; Ganowicz i Nowak, 1976; Dzięgielewski i Smardzewski, 1992). Usprkos tome, problem određivanja pouzdane vrijednosti čvrstoće konstrukcijskih sastava i oblika raspodjele napreznja u pojedinačnim spojevima nije riješen. Djelomično rješenje problema dala bi primjena numeričkih metoda modeliranja 3D konstrukcija, torzijski, smično i savojno opterećenog korpusnog namještaja (Wilczyński, 1988; Pellicane, 1994; Dzięgielewski i Smardzewski, 1994; Smardzewski, 1994; Smardzew-

Tablica 1. Deskriptivna statistika momenta savijanja (Nm) za sve skupine uzoraka

Table 1 Descriptive statistics for bending moment (Nm) of all group specimens

Grupa Group	Broj uzoraka Number of specimens	Aritmetička sredina Arithmetical mean	Minimum Minimum	Medijan Median	Maksimum Maximum	Standardna devijacija Standard deviation	Površina lijepljenja Glued surface
A	29	1543,6	1361,2	1543,8	1543,8	90,83	16,45
B	27	1451,2	1186,9	1419,3	1859,2	174,7358	11,88
C	35	2240,1	1784,5	1784,5	2265,9	236,2236	17,56

ski i Dziêgielewski, 1996; Smardzewski, 1991, 1996; Nakai i Takemura, 1995; Curtu i suradnici, 1996, 1997; Smardzewski i Papuga, 2004.). No time nije u potpunosti riješeno pitanje karakteristika definiranja ponašanja konstrukcije kutnih spojeva prostornih konstrukcija namještaja u uvjetima realnog opterećenja. Za potpuno definiranje problema potrebno je u uzajaman odnos dovesti stanje opterećenja namještaja sa stanjima opterećenja u spojevima.

Smardzewski i Papuga (2004) odredili su distribuciju naprezanja namještaja povezanoga kutnim spojevima izvedenima čepom i rupom te kutnim spojevima izvedenima moždanicima. Rezultatima analize provedene na uzorcima kutnih spojeva stolica, pri čemu su analizirani samo najopterećeniji dijelovi konstrukcije, omogućeno je optimalno konstruiranje prostornih struktura namještaja podvrgnutoga stvarnim opterećenjima. Oni ujedno upućuju na mjesta koncentriranih naprezanja i time ta mjesta čine bitnima za buduće analize rezultata istraživanja.

Iz rezultata istraživanja raspodjele naprezanja u slojevima lijepila spojeva s moždanicima jasno je vidljivo da su najveća naprezanja nastala u spojevima horizontalne okvirmice uz sjedalo i stražnje noge. Naprezanja osobito karakterizira ekstremno povećanje njihovih vrijednosti u središtu slojeva. U spojeva s moždanicima ispitivani su samo gornji ili donji moždanik spoja, ovisno o tome gdje su, prema von Misesovoj hipotezi, zabilježene veće vrijednosti naprezanja.

2.4. Utjecaj dimenzija elemenata spoja na čvrstoću i krutost spojeva izvedenih zaobljenim čepom i podužnom rupom

2.4 Influence of joint element dimensions on strength and rigidity of round mortise and tenon joints

Budući da je spoj zaobljenim čepom i podužnom rupom najzastupljeniji u kutnim konstrukcijama, i najveći broj radova opisuje istraživanja koja se odnose na uvjete što ih trebaju zadovoljiti konstrukcije sastavljene na taj način.

Hill i Eckelman (1973) proveli su opsežno istraživanje za određivanje čvrstoće i krutosti spojeva čepom i rupom. Procijenili su utjecaj varijabilnosti pojedinih dimenzija tj. dužine i širine čepa na konačne iznose krutosti spojeva. Utjecaj širine i dužine čepa istraživao je i Kamenicky (1975), no ta su istraživanja usmjerena na samo ka određivanje elastičnosti, odnosno krutosti spoja.

Iz navedenoga, se jasno zaključuje da su utjecaji dužine i širine čepa istraživani zasebno. Ispitivanje utjecaja svih dimenzija čepa na čvrstoću i krutost spojeva čepom i rupom proveli su Wilczyński i Warmbier (2003). Ispitivanje je obavljeno na uzorcima spoja izrađenoga od bukovine (*Fagus sylvatica* L.), a zaključeno je sljedeće: što su širina i debljina čepa veći, to je veći i utjecaj duljine čepa na čvrstoću spoja. Krutost testiranih spojeva i njihova čvrstoća rastu s povećanjem dimenzija spoja a utjecaj debljine čepa na koeficijent krutosti spoja, otprilike je linearan.

2.5. Analiza modela krutost čvrstoća i distribucije naprezanja spojeva učvršćenih čepom i rupom te opterećenih na torziju

2.5 Rigidity Strength analysis and strain distribution in mortise and tenon joints during torsion loading

Istraživanjima obilježja primjenjenih spojeva, s ciljem optimizacije korpusnog namještaja i smanjenja iskorištenosti materijala, bavili su se Eckelman i Sudarth (1969), Smardzewski (1991), Dziêgielewski i Smardzewski (1992), Gogolin, Wilczyński i Warmbier (1996), Wilczyński i Warmbier (1996), Tkalec i Prekrat (1997), Prekrat i sur. (2004), Smardzewski i sur. (2008). Međutim, istraživanja navedenih autora usmjerena su na utvrđivanje elastičnih konstanti i konstanti čvrstoće spojeva čepom i rupom, te spojeva moždanicima opterećenjima na savijanje. Daljnjim analiziranjem unutarnjih sila i naprezanja u elementima konstrukcije namještaja za sjedenje zaključeno je da su najopterećeniji sklopovi ipak mnogo kompleksnije opterećeni (Nakai i Takemura, 1995, 1996), Smardzewski i Prekrat (2004).

Najbitnija činjenica u istraživanjima navedenih autora bila je neusklađenost kuta rotacije konstrukcijskih spojeva s geometrijskom središnjom osi presjeka čepa, što je rezultiralo stvaranjem dodatnih momenata savijanja. Taj je nepovoljni faktor u ispitivanjima izbjegnuto primjenom specijalne naprave opremljene hvataljkama s ležajevima, čime su osigurani uvjeti opterećenja najslabijim čistom savijanju (Gawroński, 2006). Predmet ovog istraživanja bio je učvršćeni spoj izvedeni zaobljenim čepom i rupom. Dimenzije ispitnog spoja odabrane su na osnovi prijašnjih analiza tipičnih konstrukcijskih rješenja spajanja namještaja kutno bočnim načinom. Kao vrsta drva odabrana je bukovina (*Fagus sylvatica* L.), a kao vezivo polivinil-acetatno lijepilo.

Istraživanje je provedeno na osnovi dvaju numeričkih modela navedenog tipa spoja: grednog i prostornog modela. Znatno jednostavniji, gredni model omogućuje dobivanje rezultata proračuna u znatno kraćem vremenu. Zbog toga je prikladan za optimizaciju cijelih kostura namještaja, pri čemu se zbog znatnog broja ponavljanja i primjene algoritama zahtijeva brza verifikacija čvrstoće. Kombiniranjem željenih konstanti materijala s vrijednostima sile i pomaka registriranih tijekom opterećivanja uzoraka realnih spojeva, dolazi se do vrijednosti ekvivalentnih obilježja elastičnosti grednog modela i matematičkih korelacija za opis dobivenog modela.

Drugi primijenjeni model bio je prostorni model na bazi konačnih elemenata kubnog tipa, a primjer je primijenjenih spojeva i adhezijske veze. Stoga taj model ima potencijalnu primjenu pri određivanju optimalnih dimenzija spoja i analize naprezanja spoja. Osnovni nedostatak tog modela velik je broj konačnih elemenata koji povećavaju složenost proračuna. Pri primjeni tog modela ključna je usporedba rezultata dobivenih njegovim korištenjem s rezultatima dobivenim laboratorijskim istraživanjima, u jednakom uvjetima opterećenja.

2.6. Određivanje krutosti namještaja primjenom polukrutih sastava

2.6 Rigidity determination by semirigid assemblies

Vijčani spojevi korpusnog namještaja pripadaju skupini polukrutih vezova, u kojih krutost svih dijelova

konstrukcije uvjetuje krutost cijelog sustava. Pri računu takvi se sastavi nikako ne smiju smatrati idealno krutima jer bi to bilo odveć pojednostavnjeno, pogotovo za vezne elemente sa zglobovima. Sama činjenica da se ti vezovi smatraju polukrutima omogućuje ispravna matematička objašnjenja i izradu numeričkih modela konstrukcijske krutosti namještaja povezanog upotrebom vijaka.

Krutost namještaja ustanovljena je istraživanjima na osnovi matematičkog modela polukrutoga kutnog veza confirmat vijkom te određivanjem naprezanja u spojenim elementima (Smardzewski i Ožarska, 2005). Ispitivanje je provedeno na kutnim bočnim sastavima od troslojne ploče iverice, međusobno povezane confirmat vijkom. Na osnovi geometrijskih obilježja vijka i konstanti materijala troslojne ploče iverice određen je utjecaj tlačenja vijka uzimanjem u obzir samo opterećenja nastalih djelovanjem ruba glave vijka ili opterećenja nastalih djelovanjem konusnog dijela glave vijka. Na osnovi tako dobivenih podataka konstruiran je numerički model polukrutih kutnih vezova confirmat vijkom.

Von Misesova raspodjela reduciranih naprezanja tog tipa povezivanja pokazuje da se najveća naprezanja pojavljuju na mjestu spoja vertikalnoga i horizontalnog elementa pritisnutih glavom vijka. U praktičnim uvjetima konstruiranja namještaja sastavi su mnogo kompleksnije opterećeni. Zbog deformacije veznog elementa i iskrivljavanja pločastih elemenata dolazi do promjene geometrije konstrukcijskog sastava, čija krutost tada ovisi isključivo o geometriji elemenata nakon deformacije i o međusobnom odnosu svojstava materijala. Pri provedbi numeričkih proračuna autori su zaključili da je nužno procijeniti vrijednost naprezanja uzrokovanog pločama pri deformaciji. Najnepovoljnije je opterećenje ono pri kojemu se naprezanje koncentrira na rubovima ploče iverice.

2.7. Određivanje izvlačne i lomne čvrstoće sastava OSB i furnirskih ploča

2.7 Determination of tension and fracture strength of OSB and plywood assembly

Načini povezivanja vijkom i uložnom maticom primjenjuju se za povezivanje konstrukcijskih elemenata namještaja i to kao osnovni vezni elementi ili kao dodatni vezovi. Takav način povezivanja nije nov i godinama se upotrebljava za povezivanje, primjerice, stranica kreveta s uzglavljem. Naravno, konstrukcija takvih tipova vezova razvijala se godinama. Uz primjenu u konstrukcijama rastavljivog namještaja vezovi vijkom i uložnom maticom primjenjuju se i u konstrukcijama stolica jer zbog velike čvrstoće i pouzdanosti služe za učvršćenje kritičnog mjesta sastava stražnje noge i okvirnice (Eckelman, 1989), (Prekrat i sur. 2004.)

Povezivanje OSB i furnirskih ploča takvim načinom uvjetovano je spoznajama o njihovoj izdržljivosti i čvrstoći u navedenim tipovima materijala. To se posebice odnosi na izvlačnu čvrstoću uložne matice iz ruba sastava. Kod dvostrukih vezova primjenom ovih veznika osobito je važan utjecaj razmaka između dvaju

vijaka s maticama na maksimalne vrijednosti momenta loma i lomne čvrstoće.

Izvlačna čvrstoća matica na rubovima furnirskih i OSB ploča, te lomna čvrstoća dvostrukog veza tog tipa ispitivana je radi određivanja prikladnosti takvog načina povezivanja pločastih elemenata s ciljem izrade konstrukcijskih okvira za ojašteni namještaj (Erdil i sur. 2003). Ispitivanje je provedeno na uzorcima OSB ploča različitih gustoća i na uzorcima furnirskih ploča izrađenih od tvrdih, odnosno mekih listača. Ispitivanje je provedeno na grupama od četiri uzorka napravljena od svakoga navedenog materijala. Može se zaključiti da lomna čvrstoća raste proporcionalno s povećanjem udaljenosti između dvaju veznih elemenata u dvostrukim vezovima tog tipa. Iz navedenih je vrijednosti lako razlučiti i to da su dvostruki vezovi tog tipa prikladni za izradu konstrukcijskih okvira ojaštenog namještaja, kojih se traže čvrsti i pouzdani sastavi.

3. DISKUSIJA 3 DISCUSSION

Sumirajući podatke istraživanja drugih autora obrađenih u ovom radu, može se postaviti nekoliko zajedničkih osnovnih hipoteza.

Čvrstoća i krutost skeletnoga i korpusnog namještaja prije svega ovisi, o konstruktivnim, materijalnim, tehnološkim i uporabnim činiteljima. Svaki od navedenih činitelja ima određeni utjecaj na trajnost i sigurnost dotične vrste namještaja. Samim time definira se cijena proizvodnje i prodajna cijena namještaja. Zbog toga su razloga sva istraživanja provedena parcijalno, pri čemu su ispitivani samo najopterećeniji dijelovi sklopova namještaja, podvrgnuti djelovanju opterećenja identičnih onima u eksploatacijskim uvjetima. Ispitivani su najčešći načini kutnog sastavljanja drvnih konstrukcija, podijeljeni u dvije skupine: konstrukcijski spojevi i konstrukcijski vezovi. Laboratorijskim ispitivanjima uzoraka sastava željelo se doći do podataka o raspodjeli naprezanja u sastavima. Analizom tako dobivenih podataka izrađeni su matematički i/ili numerički modeli kojima se najbolje opisuje utjecaj pojedinih tipova naprezanja, ili je taj utjecaj prikazan grafički.

U ispitivanju konstrukcijskih spojeva odabrani, karakteristični način sastavljanja bio je onaj s čepom i rupom. Rezultati istraživanja osnova su za optimalan dizajn jer pružaju nova znanja o naprezanjima unutar sastava, kako u elementima spoja, tako i u slojevima ljepila. U spojeva čepom i rupom najviše su vrijednosti tangencijalnog naprezanja uslijed djelovanja momenta loma zabilježene na rubnim dijelovima veze drva i ljepila. To pokazuje da je posljedica slabljenja i kidanja takve veze izvlačenje čepa iz rupe. Vrijednosti tangencijalnog naprezanja spojeva s moždanicima karakterizira ekstremno povećanje njihove vrijednosti u središtu slojeva ljepila. Usporedbom vrijednosti tangencijalnih naprezanja spojeva s moždanicima i vrijednosti naprezanja spojeva s čepom i rupom primjećuje se 30% ma-

nja vrijednost naprezanja u linijama lijepljenih spojeva s čepom i rupom. Prikupljeni podaci numeričkih proračuna analiziranih spojeva upozoravaju na mjesta s najvećim iznosima naprezanja i time daju osnovu za buduće analize rezultata istraživanja.

Utjecaj dimenzija spoja na njegova mehanička svojstva velika je. Iznosi lomne čvrstoće i krutosti spojeva čepom i rupom rastu s porastom dimenzija spoja. Glede čvrstoće spoja, najveći je utjecaj duljine čepa, dok su utjecaji promjene širine i debljine čepa manji. Najbolji pokazatelj navedenoga jest podatak da povećanje duljine čepa s 10 na 42 mm rezultira povećanjem čvrstoće spoja koje prosječno iznosi 227,6%. No valja napomenuti da s povećanjem širine i debljine čepa raste i utjecaj duljine pera na čvrstoću spoja (Wilczyński i Warmbier, 2003). Krutost ispitivanih spojeva, kao i njihova čvrstoća, raste s povećanjem dimenzija spoja. Koeficijent krutosti spoja sve više raste s povećanjem širine pera. Povećanje koeficijenta u ovisnosti o povećanju širine pera to je tim veće što su veće duljina i debljina pera. Prosječno povećanje koeficijenta krutosti uzrokovano povećanjem širine pera s 18 na 50 mm iznosi 336,5% (Wilczyński i Warmbier, 2003). Na osnovi navedenoga zaključuje se da je utjecaj širine pera na krutost spoja mnogo veći od utjecaja dužine i debljine pera.

Za ispitivanje konstrukcijskih vezova odabrana su dva reprezentativna načina povezivanja, točnije, polukruti kutni vezovi confirmat vijkom i kutni vezovi vijkom i uložnom maticom. Maksimalni moment pritezanja u vezovima confirmat vijkom ne uzrokuje naprezanja koja mogu oštetiti ploču duž navoja vijka, no pritom se do pojavljuju lomna naprezanja u ploči pritisnutoj glavom confirmat vijka. Matematičkim modelom svinutih kutnih vijčanih vezova confirmat vijcima opisan je izgled deformacije konstrukcijskog sastava, kao i utjecaj momenta loma na fleksibilnost veznika i povezanih materijala (Smardzewski i Ožarska, 2005).

Rezultati ispitivanja sastava od furnirskih i/ili OSB ploča povezanih vijkom i uložnom maticom pokazuju izuzetno visoke iznose izvlačne i lomne čvrstoće, upozoravajući time na mogućnost primjene tog načina povezivanja pri izradi konstrukcijskih okvira ojastučenog namještaja. U osnovi, pozicioniranje uložne matice relativno blizu ruba sastavnog elementa, za vrijednosti od 25,4 mm od ruba i više, za OSB ploče nije kritično (Erdil i sur. 2003). Na furnirskim pločama s porastom udaljenosti rastu i iznosi izvlačne čvrstoće. Delaminaciju krajeva povezanih elemenata od furnirskih ploča moguće je izbjeći primjenom uložnih matica dugačkih barem toliko kolika je debljina elementa u koji se usađuju (Erdil i sur. 2003).

Potrebno je naglasiti da je katkad rezultate teško uspoređivati zbog nedostatnih podataka autora, npr. točnog opisa svojstava materijala od kojih su izrađeni uzorci. To se posebno odnosi na različite značajke iste vrste drva s različitim staništa. Također su često nedostatni podaci o tehničkim čimbenicima elemenata sastava.

4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

U današnjim uvjetima potrošačkog mentaliteta, u kojima je potreba za konkurentnošću i profitom osobito naglašena, od konstruktora se očekuje brz i pouzdan izbor konstrukcijskog rješenja usklađenog s estetskim kriterijima definiranim dizajnerskim rješenjem. Način utvrđivanja izdržljivosti konstrukcije prema propisanim normama za ispitivanje namještaja sve češće zamjenjuju simulacijski modeli ispitivanja konstrukcije. Računalne tehnike nude kraći put otkrivanja nedostataka odabranoga konstrukcijskog rješenja. Budući da nisu pronađeni idealni računalni modeli koji bi mogli zamijeniti praktična ispitivanja konstrukcijskih sastava, može se očekivati da će se u budućnosti više pozornosti pridati traženju modela za primjenu računalno modeliranih konstrukcijskih rješenja upotrijebljenih u definiranju kvalitete proizvoda u fazi projektiranja i konstruiranja.

5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Biniek, P.; Smardzewski, J. 1987: Effect of simultaneous changes in several factors on the strength of fork-tenoned joints, *Przemysl - Drzewny*, 38 (11): 6-8.
2. Cutru, I.; Szava, J.; Crisan, R., 1996: Utilizarea metodelor de interferometrie holografice la studiul stărilor de tensiuni în îmbinările realizate din materiale ortotrope, *Suceava*, 201-210.
3. Cutru, I.; Crisan, R.; Barbu, C.; Curtu, L., 1997: Aspects of glue line stress – strain state of wooden joints, *Pokroky vo vyrobe a pouziti lepidie v drevopriemysle*, Vinne, 121-128.
4. Dziegielewski, S.; Zenkteler, M., 1975: Badania nad polaczeniami szkieletowych konstrukcji mebla z drewna, *Folia Forestalia Polonica*, seria B, 12, 133-156.
5. Dziegielewski, S.; Gienza, I.; Grbac, I., 1983: Istraživanje statičke i dinamičke čvrstoće stolica kao parametra njihove kvalitete, *Drvna industrija*, 34 (1-2): 5-9.
6. Dziegielewski, S.; 1991: Sposoby nanosenia klejuna powierzchni zlaczy a jakosc polaczenia. *Przemysl Drzewny*, 7: 10-13.
7. Dziegielewski, S.; Smardzewski, J., 1992: Sztywnosc i wytrzymałosc polaczen katowych wykonanych z plyt MDF [Stiffness and strength of corner joint made of MDF], *Przemysl Drzewny*, 5: 6-8.
8. Dziegielewski, S.; Smardzewski, J., 1994: Rozkład naprężeń w spoinie połączenia czopowego [Distribution of stress in the glue bond of mortise joint], *Materials of the 6th Scientific Session Research for Furniture Design*, Poznań, 61-73.
9. Dziuba, T.; Kwiatkowski, K., 1976: Über prüfung des berechnungsverfahrens für die konstruktion von stühlen, *Holztechnologie*, 17 (1): 222-227.
10. Eckelman, C. A.; Suddarth, S. K., 1969: Analysis and design of furniture frames, *Wood Sci. Technol.*, 3: 239-255.
11. Eckelman, C. A., 1970: The fatigue strength of two-pin moment – resisting dowel joints, *Forest Products Journal*, 20 (5): 42-45.
12. Eckelman, C. A., 1989: Holding strength of through-bolt with dowel-nut connections, *Forest Products Journal*, 39 (11-12): 41-48.

13. Erdil, Y. Z.; Zhang, J.; Eckelman, C. A., 2003: Withdrawal and bending strength of dowel-nuts in plywood and oriented strandboard, *Forest Products Journal*, 53 (6).
14. Ganowicz, R.; Nowak, K., 1976: Wybrane problemy konstrukcyjno – wytrzymałościowe projektowania mebli [Selected constructio-strength problems of furniture design], *Rocz. AR Pozn.*, 81.
15. Gawroński, T., 2006: Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion, *Electronic journal of Polish Agricultural Universities*, 9, 4.
16. Gogolin, R. M.; Wilczyński, A.; Warmbier, K., 1996: Naprężenia na powierzchni płaskiego połączenia narożnikowego o złączu kołkowym [Stress on the surface of flat corner connection with dowel joint], 8. Ses. Nauk. Badania dla meblarstwa, 45-59.
17. Hill, M. D.; Eckelman, C. A., 1973: Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints, *Furn. Design Manuf.*, 45 (1/2): 54-61.
18. Jeršić, R.; Sinković, B., 1978: Faktori kvalitete stolica, *Drvena industrija*, 29, 9, 227-234.
19. Kamenicky, J., 1975: Die Nachgiebigkeit von Zapfenverbindungen für Möbelkonstruktionen, *Drev. Vysk.*, 20 (4): 197-214.
20. Kamenicky, J., 1982: Die verteilung der inneren kraefte in stuhlgestellten mit unterschiedlichen verbindungen, *Holztechnologie*, 23 (2): 103-107.
21. Korzeniowsky, A., 1968: Możliwosci zwiekszenia wytrzymałosci i sztywnosci klejonychzłaczy w ramowych i szkieletowych konstrukcjach stolarskich. *Przemysl Drzewny*, 2: 19-22.
22. Korzeniowsky, A., 1974: Kryteria unifikacji klejonych złączy narożnych. *Przemysl Drzewny*, 11: 21-24.
23. Korzeniowsky, A., 1984: The influence of fit on the mechanical properties of glued mortice and tenon joints. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW – AR. Forest and Wood Technology*, 31: 3-11.
24. Nakai, T.; Takemura, T., 1995: Stress analysis of through – tenon joint of wood under torsion I. Shear stress analysis of the male using the finite element method, *J. Jap. Wood Res. Soc.*, 42 (4): 361-368.
25. Nakai, T.; Takemura, T., 1996: Stress Analysis of the throug-tenon joint of wood under torsion II. Measurements of shear stresses in the male by using Rosette gauges, *Mokuzai Gakkaishi*, 42 (4): 387-392.
26. Pellicane, P., 1994: Finite element analysis of finger – joints in lumber with dissimilar laminate stiffnesses, *Forest Products Journal*, 44 (3): 17-22.
27. Prekrat, S.; Tkalec, S.; Grbac, I. 1998: Defining the criteria for technical Quality of wood structures at automatic furniture construction, *Design 98*, / Marjanović, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, WDK, Zürich 475-479.
28. Prekrat, S.; Jazbec, A.; Pervan, S., 2004.: Analysis of the bending moment of innovative corner joints during static testing, *Wood research*, 49 (1): 21-32.
29. Richards, D.B., 1962: High-strength corner joints for wood. *Forest Products Journal.*, 9: 413-418.
30. Smardzewski, J., 1991: Analiza odkształceń połączeń drewnianych [Technology of wood and wood compound materials], Springer-Verlag, Berlin.
31. Smardzewski, J., 1994: Model matematyczny i analiza numeryczna rozkładu naprężeń stycznych w prostokątnych spoinach połączeń poddanych skręcaniu [Mathematical model and numerical analysis of the distribution of tangential stresses in rectangular glue bonds of connections subjected to torsion], *Materials of the 6th Scientific Session Reaserch for Furniture Design, Poznań*, 31-35.
32. Smardzewski, J., 1996: Distribution of stresses in finger joints, *Wood Sci. Technol.*, 30: 477-489.
33. Smardzewski, J.; Dziegielewski, S., 1996: Strength of wedge – shaped dovetail joints made from MDF boards, *Materials of the 9th Scientific Session Reaserch for Furniture Design, Poznań*, 11-21.
34. Smardzewski, J.; Papuga, T., 2004: Stress distribution in angle joints of skeleton furniture, *Electronic journal of Polish Agricultural Universities*, 7, 1.
35. Smardzewski, J.; Prekrat, S., 2004: Nelinearni model čvrstoće spoja svornjakom i zakretnim klinom, *Drvena industrija*, 55 (2): 59-67.
36. Smardzewski, J.; Ožarska, B., 2005: Rigidity of cabinet furniture with semi-rigid joints of the confirmat type, *Electronic journal of Polish Agricultural Universities*, 8, 2.
37. Smardzewski, J.; Grbac, I.; Prekrat, S., 2008: Nonlinear strength model of an eccentric joint mandrel, *Drvena industrija*, 59 (1): 2.
38. Tankut, A.N.; Tankut, N., 2004: Effect of Some Factors on Strength of Furniture Corner Joints Constructed with Wood Biscuits, *Turk J. Agric. For.* 301-309, Tubiak.
39. Tkalec, S.; Prekrat, S., 2000: Konstrukcije proizvoda od drva – osnove drvnih konstrukcija, sveučilišni udžbenik, *Znanje – Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 1-310.
40. Tkalec, S.; Prekrat S. 1997: Čvrstoća spojeva u konstrukcijama stolica od borovine i bukovine, *Drvena industrija*, 48 (1): 10 – 16.
41. Tkalec, S.; Prekrat, S.; Žmire, M. 1997: Ugaono spajanje bukovine klinastim zupcima, *Drvena industrija*, 48 (2): 79 – 85.
42. Vince, F., 1975: Zhodnotenie lepených nábytkových spojov z hl’adiska ich pevnost a tuhost, *Drevo*, 30: 8-14.
43. Warmbier, K., 1999: Badania drewnianych połączeń katowych płaskich o wybranych złączach, *Praca doktorska wykonana w Instytucie Techniki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Bydgoszczy*.
44. Wilczyński, A., 1988: Badanie naprężeń ścinających w spoinie klejowej w drewnie [Investigations of shear stress in wooden glue bond], *University Publications of the WSP in Bydgoszcz*.
45. Wilczyński, A.; Warmbier, K., 1996: Badania metodyczne połączenia narożnikowego płaskiego o złączu dwukołkowym [Metodical research of flat corner connection with double dowel joint], 9. Ses. Nauk. Badania dla meblarstwa, Poznań, 23-32.
46. Wilczyński, A.; Warmbier, K., 2003: Effect of joint dimensions on strength and stiffness of tenon joints, *Folia Forestalia Polonica, Seria B*, 34, 53-66.
47. Zhang, J.L.; Eckelman, C.A. 1993: The bending moment resistance of single- dowel corner joints in case construction, *Forest Products Journal*, 43 (6): 19 – 24.

Corresponding adress:

Assistant Professor SILVANA PREKRAT, PhD

Department of furniture and products of wood
Faculty of Forestry
University of Zagreb
Svetošimunska 25, p.p. 422
HR-10002 Zagreb, Croatia
e-mail: prekrat@sumfak.hr