

Usporedba udjela lomne površine po drvu analizirane računalom i procjenom prema normi ISO 6238 pri ispitivanju kvalitete lijepljenja

Comparison of percentage of wood fracture surface analyzed by computer and by ISO 6238 in determining the quality of adhesive bonds

Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Prispjelo – Received: 28. 2. 2008.

Prihvaćeno – Accepted: 21. 5. 2009.

UDK: 630*824.52

SAŽETAK • U radu su prikazani rezultati mjerenja i procjene udjela lomne površine po drvu pri ispitivanju kvalitete lijepljenja dvjema metodama. Prva se metoda bazira na odredbama ISO 6238 norme, prema kojima su procjenu obavljala dva procjenitelja kako bi se pokazala razlika u percepciji. Drugom metodom udio lomne površine po drvu izmjeren je uz pomoć analize digitalne fotografije putem računala.

Rezultati pokazuju da mjerenje udjela lomne površine po drvu uz pomoć analize digitalne fotografije ne pokazuje statistički značajnu razliku od normiranog postupka, ali mjerenja putem računala daju pouzdanije i preciznije rezultate.

Ključne riječi: kvaliteta lijepljenja, lomna površina po drvu, subjektivna i objektivna metoda

ABSTRACT • This paper presents the results of measuring and estimating the percentage of wood fracture surface in testing the quality of adhesive bonds by using two methods. The first method is based on ISO 6238. The estimation was carried out by two estimators so as to show the difference in perception. The second method consists of measuring the percentage of wood fracture surface by analyzing digital photography by computer software.

The results prove that there is no statistically significant difference between the measurement of the percentage of fracture surface by analyzing digital photography with computer software and the measurement made by standard process. Computer measurement is, however, more reliable and accurate.

Key words: gluing quality, portion of wood failure, subjective and objective methods

¹ Autori su, redom, studentica, asistent, asistent i izvanredni profesor Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

¹ Authors are student, assistant, assistant and associate professor at the Faculty of Forestry, University of Zagreb.

1. UVOD 1 INTRODUCTION

Čvrstoća slijepjenog spoja ili čvrstoća loma, najvažnije je i najtraženije kvalitativno svojstvo svakog ljepila. Pri ispitivanju na smik čvrstoća loma slijepjenog spoja dvaju drvnih elemenata označuje maksimalnu čvrstoću na smicanje u smjeru vlaknaca drva. Ona mora biti jednaka ili veća od čvrstoće na smicanje samog drva, jer inače nastaje lom po ljepilu. Osim tog osnovnog svojstva, gotovo sve norme zahtijevaju da se u izvješću o rezultatima ispitivanja navede i udio lomne površine po drvu. Najutjecajni su sustavi EN i ISO koji pri ispitivanju kvalitete ljepila imaju slične pristupe. Procedura ispitivanja strogo je definirana, ali segment tih ispitivanja u kojemu se određuje udio lomne površine po drvu pod velikim je utjecajem subjektivne procjene ispitivača.

Pouzdanu određivanje udjela loma po drvu ima veliku važnost pri definiranju kvalitete lijepjenja (Mihulja, 2003), ali se prema propisima normi izvodi procjenom površine loma, te se stoga pojavila potreba za usavršavanjem postojeće metode odnosno za razvojem nove, koja se koristi digitalnom fotografijom i njezinom analizom putem računala. U postupcima procjene lomne površine koji su propisani normama glavni je problem to što razni ljudi različito percipiraju prostor, tako da određivanje udjela loma po drvu na lomnoj površini ispitnih proba nije objektivan.

Norme ISO i EN za analizu lomne površine propisuju određivanje udjela loma po drvu na površinama sljubnice nakon ispitivanja čvrstoće lijepjenja. Metoda se sastoji od subjektivne procjene udjela loma po drvu na lomnim površinama. Uz tako definirane uvjete promatrač mora odrediti udio loma po drvu tako da se rezultati zaokruže na 10-postotne iznose za ISO norme, te na 0, 25, 50, 75, 100% udjela površine za EN norme.

Takav pristup promatranju lomne površine po drvu i određivanje udjela loma po drvu rezultira velikim rasipanjem podataka, jer razlike u granicama između loma po drvu, loma po ljepilu i loma po međusloju nisu lako uočljive, pa nastaju velike subjektivne pogreške.

Mogućnosti ili ponašanje nekog adheziva ovise o širokom rasponu varijabli. Neke su povezane sa sustavom, primjerice s hrapavošću površine, pH površine drva ili ljepila, prisutnošću ekstraktivnih tvari ili nečistoće (krhotina, prašine) te s ostalim varijablama vezanim za različite utjecaje, poput veličine i učestalosti promjene temperature i relativne vlažnosti, kvašenja (Bogner i sur., 1993, 1995).

Jasno je da će biti razlika pri ocjenjivanju performansi (ukupnosti traženih zahtjeva) različitih vrsta adheziva. Postoje dva temeljna pristupa za procjenu performansi adheziva kada se oni podrazumijevaju kao neovisni sustavi. Prvi se temelji na ispitivanju tankih filmova adheziva, a drugi na ispitivanju normiranih lijepjenih proba i uvjeta testiranja. U pokušaju da vrednujemo svojstva i mogućnosti adheziva zasebno, varijable koje se odnose na supstrat trebaju biti konstantne. Ako se pak ocjenjuju performanse lijepjenog spoja pri upo-

rabi drvnih lijepjenih proizvoda, moraju se uzeti u obzir efekti supstrata (Bogner i sur., 1999).

U većini pristupa ocjenjivanju kvalitete lijepjenja drva polazište krije da lijepljeni spoj treba biti jednak ili čvršći od drva (Yavorsky i sur., 1955). To omogućuje ocjenjivanje prema veličini udjela loma po drvu. Osim toga, nekim se ljepilima postižu vrlo visoke čvrstoće prije loma, a da se lom ipak pojavljuje u liniji ljepila, a ne kroz drvo. Tada se postavlja pitanje je li takav pristup ocjenjivanju prihvatljiv ili nije. Udio loma po drvu mijenja se sa sadržajem vlage, i kreće se od 0% pri niskom sadržaju vlage do 20-30% pri višim sadržajima vlage, s nekim naznakama maksimuma pri srednjim vrijednostima. Zamjetno je da lom po drvu ne može biti bezuvjetan pokazatelj kvalitete spoja (Marra, 1962), ali je ipak jedan od pokazatelja kvalitete spoja.

Istraživanja adhezije od početka se temelje na mjerenju sile loma mehaničkim testovima slijepjenih spojeva. Važnost loma po drvu minimalizirana je pretpostavkom da veći lom po drvu nije moguć ako se upotrijebi kvalitetan uzorak, sa smjerom žice paralelnim s površinom. Američki Forest Product Laboratory 1919. godine iznosi podatke o ispitivanju metodama smičnog naprezanja, ne spominjući lom po drvu. Tek je 1929. godine američki istraživač T. R. Truax iznio ideju o vrednovanju lijepjenog spoja na temelju udjela loma po drvu nakon mehaničkog opterećivanja do loma (Northcott, 1955).

Unatoč teškoćama zbog nesavršenosti pri vrednovanju na temelju rezultata sile loma pri mehaničkom ispitivanju zbog nedovoljnog poznavanja rasporeda naprezanja u trenutku loma, ta metoda ipak daje rezultate korisnije za ocjenu kvalitete lijepjenja nego metoda koja se temelji samo na veličini udjela loma po drvu (Northcott, 1955).

Iznos čvrstoće u nekim slučajevima može, ali i ne mora, biti pogodan kao kriterij za određivanje kvalitete spoja jer lom može nastati zbog različitih faktora, poput intenzivne deformacije, delaminacije, gubitka konzistentnosti, unutarnjih naprezanja u spoju ili niza drugih činitelja koji nisu izravno povezani s maksimalnom čvrstoćom (Bogner i sur., 1999).

Ocjena kvalitete lijepjenja može se određivati terminima relativnog iznosa destrukcije adheziva i drva ili potrebnog naprezanja koje uzrokuje destrukciju pri određenom mehaničkom opterećenju. Kvaliteta lijepjenja za prvi se slučaj procjenjuje (određuje) vizualno, uzimanjem u obzir relativnih količina drva i ljepila na lomnoj površini, a u drugom se slučaju određuje prema iznosu čvrstoće spoja, uz pomoć podataka o silama izmjerenim u trenutku loma. Da bi procjena kvalitete bila što bliža realnom stanju, moraju se uzeti u obzir oba gledišta. Čvrstoća će davati približno točne iznose ako analizom površine loma anuliramo one probe koje zbog bilo kojeg razloga ne odgovaraju.

Daljnje povećanje pouzdanosti u određivanju kvalitete lijepjenja moguće je samo metodama za koje su poznati svi utjecajni činitelji i iznosi njihova udjela u formiranju odnosno mjerenju sile loma.

Neki od najvažnijih činitelja koji uzrokuju varijacije rezultata jesu:

1. činitelji vezani za geometriju ispitnih proba i metode opterećenja: a) ekscentričnost probe; b) dubina zarezaja; c) neporavnost ispitnih hvataljki; d) udaljenost između hvataljki; e) pritisak ispitnih hvataljki; f) intenzitet djelovanja;
2. činitelji vezani za anatomiju i fizička svojstva drva: a) smjer žice na licu probe; b) orijentacija mikropukotina; c) volumna težina i sadržaj vode; d) elastična svojstva.

Tim izvorima varijabilnosti zajedničko je da djeluju na raspodjelu i intenzitet naprezanja nametnutog ispitnoj površini lijepljenoga spoja (Yavorsky i sur., 1955).

Pojava i širenje loma važni su pokazatelji pri analizi površine loma, kojom se određuje funkcionalnost pojedine probe. Lom po drvu kvalitativni je pokazatelj kvalitete slijepljenog spoja. Ako su uzorci za ispitivanje čvrstoće slijepljenog spoja pravilno izrađeni, naprezanje će se koncentrirati u sljubnici ili neposredno uz nju. Pritom lom po drvu upozorava na to da je čvrstoća slijepljenog spoja znatno veća od čvrstoće drva. Zbog nepravilne raspodjele naprezanja (npr. na neadekvatnim ili loše izrađenim probama), tj. zbog moguće koncentracije naprezanja u drvu - izvan sljubnice - lom može započeti u zoni drva. Ovisno o raspodjeli naprezanja, lom se širi od najslabije točke (npr. od lumena traheja, velikog lumena traheide, mjehurića ili pukotina u sloju ljepila, od mjesta slabe adhezije zbog nečistoće, mehaničkog oštećenja itd.) po području naprezanja. Ako naprezanja nisu strogo koncentrirana na sloj ljepila ili područje međusloja, lom može započeti i širiti se u drvu. Ako čvrstoća spoja i međusloja nije znatno veća od čvrstoće drva (često pri smicajnim opterećenjima, pogotovo na malim površinama sljubnice), može se dobiti pogrešna slika o čvrstoći lijepljenja. Da bi se to izbjeglo, probe moraju imati pravilnu geometriju, a naprezanja tijekom ispitivanja moraju biti usmjerena na u područje sljubnice.

Budući da norma zahtijeva određivanje udjela lomne površine po drvu, cilj ovog rada jest predložiti objektivnu metodu određivanja udjela lomne površine po drvu.

Istraživanjem se trebaju usporediti dvije metode. Prva se bazira na odredbama norme ISO 6238, koje su detaljno opisane u poglavlju 2.2. Pri tome je potrebno usporediti rezultate različitih procjenitelja kako bi se utvrdilo postoji li značajna razlika u njihovoj percepciji udjela loma po drvu na istim lomnim površinama. Druga se metoda ispitivanja provodi digitalnim fotografiranjem lomnih površina te se zatim računalnom obradom dobivenih slika utvrđuju udjeli loma po drvu.

2. MATERIJALI I METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1. Odabir ispitnih proba

2.1 Material selection

Probe su izrađene iz slijepljenih uzoraka bukovine, u skladu odredbama norme ISO 6238. Izrađeno je ukupno 20 proba slijepljenih PVAC ljepilom i 20 proba slijepljenih jednokomponentnim PU ljepilom. Nakon

kidanja proba na kidalici provedeno je mjerenje i procjena udjela lomnih površina po drvu.

Pri razlikovanju lomnih površina (drvo, ljepilo ili drvo impregnirano ljepilom) može se pojaviti problem nedovoljnog kontrasta i intenziteta boje. Budući da je pri proizvodnji ljepila potrebno postići što veću sličnost s bojom drva kako bi spoj bio što manje uočljiv, pojavila se potreba promjene takvog stanja. Rješenje se postiže selektivnim bojenjem drva ili ljepila.

PU ljepilo teško se boji, te je bojilo trebalo odati tako da intenzivnije oboji drvo. Za to je ispitivanje prema iskustvu u bojenju preparata za mikroskopska istraživanja anatomije drva upotrijebljena 1-postotna otopina safranina jer ona oboji lignin u drvu. Nakon nanošenja safranina uzorci su sušeni 24 sata da se safranin potpuno poveže s ligninom u drvu. PVAC ljepilo može se obojiti vodenom otopinom joda.

2.2. Metoda analiziranja lomne površine okularnom analizom prema normi ISO 6238

2.2 Analysis of portion of wood failure according ISO 6238

Metoda okularne analize lomne površine pri ispitivanju kvalitete lijepljenja sastoji se od procjene udjela loma po drvu.

Postupak je definiran ovim uputama: izvor svjetlosti treba biti pod kutom od 10 do 15° u odnosu prema lomnoj površini; na izvoru svjetlosti ne smije biti reflektirajućih površina; jakost žarulje mora biti 150 W ili fluorescentne svjetiljke 15 W; udaljenost izvora svjetlosti (žarulje) od lomne površine mora biti od 150 do 250 mm ili fluorescentne svjetiljke 25 do 75 mm.

Uz tako definirane uvjete promatrač mora odrediti udio loma po drvu tako da se rezultati zaokruže na 10-postotne iznose.

Ispitivanje je provedeno s dva procjenitelja, tako da je svaka površina analizirana trima vremenski odvojenim procjenama (minimalno 1 dan).

2.3. Metoda analiziranja lomne površine digitalnom fotografijom i računalom

2.3 Analysis of portion of wood failure with digital photography and computer

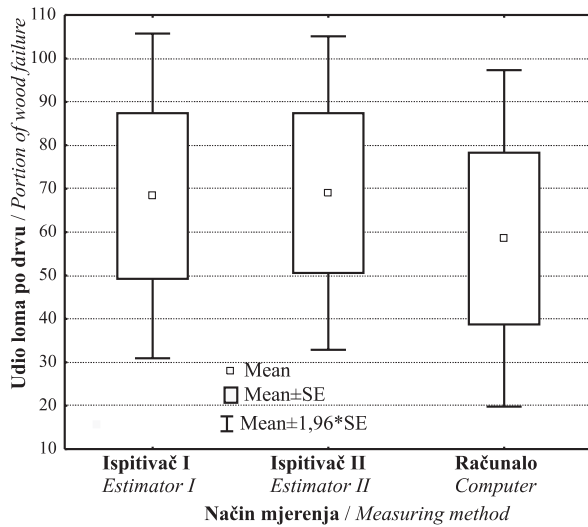
Analiza lomne površine računalom provodi se tako da se uzorci fotografiraju digitalnim fotoaparatom, nakon čega se fotografije obrade softverom za obradu slika Corel Draw. Fotografije s lomnim površinama zatim se obrade u softveru Scion Image, koji svojim algoritmom izračunava udio loma po drvu koristeći se pikselima s fotografije kao jedinicom mjere površine.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

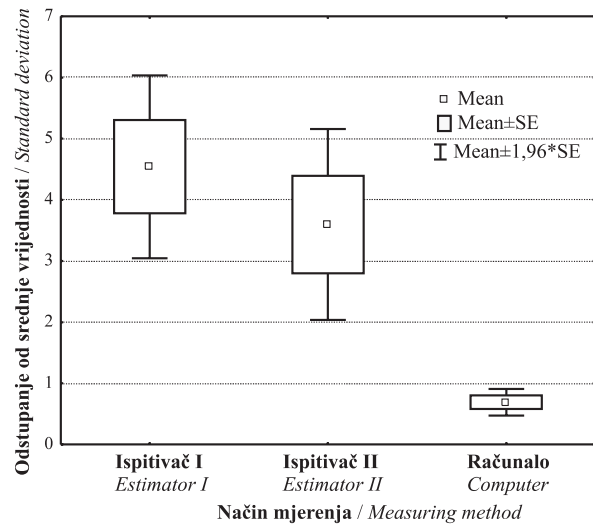
3 RESEARCH RESULTS

Rezultati procjene udjela lomne površine po drvu na probama slijepljenim PVAC ljepilom prikazani su u tablici 1. i njihova je statistička analiza grafički dana na slikama 1. i 2.

Rezultati procjene udjela lomne površine po drvu na probama slijepljenim PU ljepilom prikazani su u tablici 2, a njihova statistička analiza grafički je dana na slikama 3. i 4.



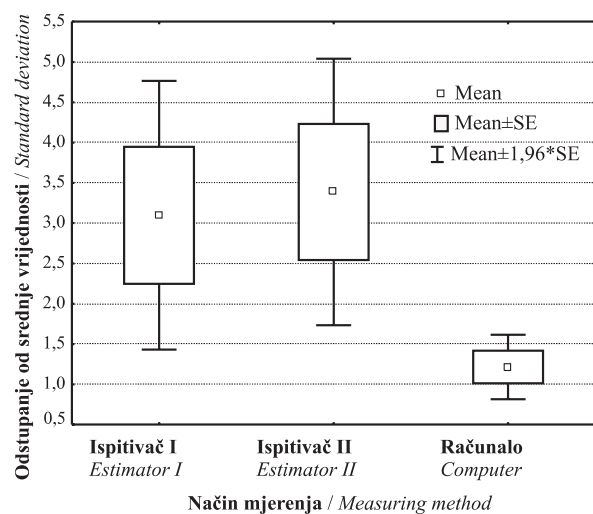
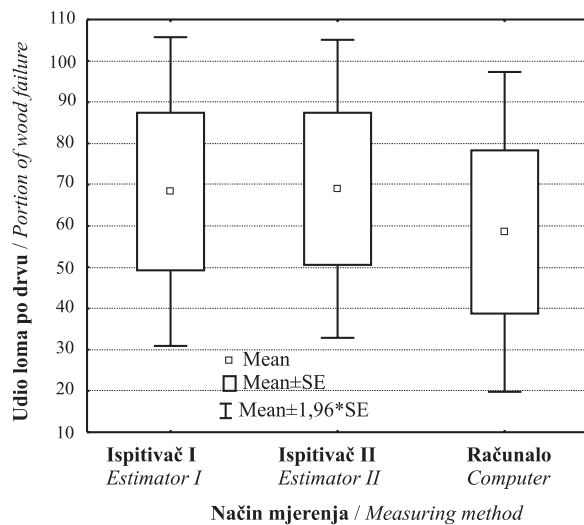
Slika 1. Prikaz analize prosječnih udjela loma po drvu za uzorke slijepljene PVAC ljepilom
Figure 1 Analysis of average percentage of wood fracture on samples bonded with PVAC adhesive.



Slika 2. Prikaz analize odstupanja srednjih vrijednosti udjela loma po drvu za uzorke slijepljene PVAC ljepilom
Figure 2 Analysis of standard deviation of wood fracture percentage on samples bonded with PVAC adhesive.

Tablica 1. Srednje vrijednosti triju vremenski odvojenih mjerenja udjela loma po drvu na probama slijepljenima PVAC ljepilom.
Table 1 Average value of tri time shift measurement of wood fracture percentage on samples bonded with PVAC adhesive

Uzorak Sample	Ispitivač 1 / Estimator 1		Ispitivač 2 / Estimator 2		Računalo / Computer	
	Srednja vrijednost, % Mean, %	Standardna devijacija, % Standard deviation, %	Srednja vrijednost, % Mean, %	Standardna devijacija, % Standard deviation, %	Srednja vrijednost, % Mean, %	Standardna devijacija, % Standard deviation, %
1.	76,67	5,77	73,33	5,77	71,67	0,58
2.	73,33	11,55	80,00	0,00	65,67	0,58
3.	50,00	0,00	50,00	10,00	43,67	0,58
4.	43,33	5,77	36,67	5,77	17,67	0,58
5.	96,67	5,77	90,00	0,00	76,00	0,00
6.	76,67	5,77	76,67	5,77	71,33	0,58
7.	76,67	5,77	70,00	0,00	49,67	0,58
8.	86,67	5,77	90,00	0,00	76,33	0,58
9.	86,67	5,77	86,67	5,77	73,33	1,53
10.	73,33	5,77	76,67	5,77	72,67	2,08
11.	50,00	0,00	50,00	0,00	30,67	1,15
12.	53,33	5,77	63,33	5,77	46,67	0,58
13.	40,00	10,00	46,67	5,77	31,67	0,58
14.	90,00	0,00	90,00	0,00	74,33	1,15
15.	83,33	5,77	80,00	0,00	78,67	0,58
16.	90,00	0,00	90,00	0,00	78,33	0,58
17.	33,33	5,77	33,33	5,77	25,00	1,00
18.	70,00	0,00	76,67	5,77	69,00	0,00
19.	46,67	5,77	50,00	10,00	52,00	0,00
20.	70,00	0,00	70,00	0,00	66,33	0,58
Pro- sječno Average	68,33	4,54	69,00	3,60	58,53	0,69



Slika 3. Prikaz analize prosječnih udjela loma po drvu za uzorke slijepljene PU ljepilom
Figure 3 Analysis of average percentage of wood fracture on samples bonded with PU adhesive.

Slika 4. Prikaz analize odstupanja srednjih vrijednosti udjela loma po drvu za uzorke slijepljene PU ljepilom
Figure 4 Analysis of standard deviation of wood fracture percentage on samples bonded with PU adhesive.

Tablica 2. Srednje vrijednosti triju vremenski odvojenih mjerenja udjela loma po drvu na probama slijepljenima PU ljepilom
Table 2 Average value of three time shift measurements of wood fracture percentage on samples bonded with PU adhesive

Uzorak Sample	Ispitivač 1 / Estimator 1		Ispitivač 2 / Estimator 2		Računalo / Computer	
	Srednja vrijednost, % Mean, %	Standardna devijacija, % Standard deviation, %	Srednja vrijednost, % Mean, %	Uzorak Sample	Srednja vrijednost, % Mean, %	Standardna devijacija, % Standard deviation, %
1.	66,67	5,77	63,33	5,77	60,33	3,06
2.	73,33	5,77	56,67	5,77	45,00	2,00
3.	53,33	5,77	60,00	0,00	58,00	1,00
4.	20,00	10,00	10,00	0,00	29,00	0,00
5.	80,00	0,00	73,33	5,77	66,00	3,46
6.	56,67	5,77	50,00	10,00	45,67	1,53
7.	20,00	0,00	10,00	0,00	20,33	0,58
8.	20,00	0,00	10,00	0,00	21,33	0,58
9.	50,00	0,00	43,33	5,77	50,33	0,58
10.	50,00	0,00	46,67	5,77	47,33	0,58
11.	93,33	5,77	90,00	0,00	76,67	1,53
12.	50,00	0,00	36,67	5,77	57,33	0,58
13.	80,00	0,00	80,00	0,00	76,00	0,00
14.	90,00	0,00	90,00	0,00	83,00	2,00
15.	20,00	0,00	13,33	5,77	21,00	1,73
16.	13,33	5,77	10,00	0,00	20,33	0,58
17.	20,00	0,00	20,00	0,00	24,00	1,00
18.	20,00	0,00	16,67	5,77	25,67	1,53
19.	13,33	5,77	10,00	0,00	22,00	1,00
20.	26,67	11,55	16,67	11,55	33,00	1,00
Prosječno Average	45,83	3,10	40,33	3,39	44,12	1,21

4. DISKUSIJA 4 DISCUSSION

Rezultati pokazuju razlike u pouzdanosti i preciznosti mjerenja te procjene dviju uspoređivanih metoda, kao i razlike u percepcijama procjenitelja.

Za uzorke slijepljene PVAC ljepilom razlika u percepciji procjenitelja površine loma po drvu nije velika i iznosi samo 0,67%, a slično je i sa standardnom devijacijom za koju je razlika 0,89% i koja, prema rezultatima F-testa, nije signifikantna (sl. 3). Međutim, postoji znatna razlika u standardnoj devijaciji između rezultata procjenitelja i rezultata dobivenih mjerenjem računalom (sl. 4). Površina loma po drvu izmjerena računalom u prosjeku je manja za 10,13% od površine procjenitelja, što je vjerojatno uzrokovano zaokruživanjem rezultata procjene na 10-postotne iznose, kako zahtijeva norma. Standardna je devijacija za 3,38% manja od prosječne standardne devijacije procjenitelja i iznosi 0,69% na temelju čega možemo zaključiti da je metoda kojom se koristi računalno točnija i preciznija, što pokazuje i F-test jer postoji signifikantna razlika u varijancama dobivenim od procjenitelja i putem računala, uz vjerojatnost pogreške prve vrste od $\alpha=0,05$.

Za uzorke slijepljene PU ljepilom razlika u percepciji procjenitelja površine loma po drvu znatna je i iznosi 5,5%, dok razlika u standardnoj devijaciji nije velika i iznosi 0,29%, a prema rezultatima F-testa nije signifikantna. Međutim, postoji i znatna razlika u standardnim devijacijama između rezultata procjenitelja i rezultata dobivenih mjerenjem računalom, (sl. 4), što pokazuje i F-test, jer postoji signifikantna razlika u varijancama procjenitelja i rezultatima računala, uz vjerojatnost pogreške prve vrste od $\alpha=0,05$, na temelju čega možemo zaključiti da je metoda koja se za mjerenje udjela loma po drvu koristi digitalnom fotografijom i računalom točnija i preciznija, dakle i objektivnija.

Metoda je primjenljiva i na druge norme ili slijepljene spojeve drva kojima se želi objektivno i vrlo precizno utvrditi udio loma po drvu. Glavna procedura koja pridonosi boljoj razlučivosti oblika lomne površine jest kvalitetno obojenje drva ili ljepila. Ostaje problem preciznijeg utvrđivanja lomne površine koja nastaje kretanjem loma kroz međusloj.

5. ZAKLJUČCI 5 CONCLUSIONS

Metoda mjerenja udjela loma po drvu računalom pokazuje rezultat sukladan rezultatu vještog procjeni-

telja, čime je utvrđeno da objektivno daje jednako vjerne rezultate na koje ne utječe subjektivni doživljaj prostora, zdravstveni elementi (posebno psihološki) stanja procjenitelja i/ili nedovoljna stručnost npr. mladih vježbenika.

Nedostatak metode jest njezina složenost, koju je moguće umanjiti ciljanom proizvodnjom uređaja sastavljenoga od optičkog dijela (skenera ili fotoaparata) i programskog dijela (namjenskoga računalnog programa).

Ta metoda može poslužiti za određivanje udjela lomne površine po drvu i za druge norme ili slijepljene spojeve drva.

6. LITERATURA 6 REFERENCES

1. Bogner, A. 1993: Kvašenje drva i adhezija. *Drvena industrija* 44(4):139-143.
2. Bogner, A. 1995: Work of adhesion as a criterion for determination of optimum surface tension in adhesives. *Drvena industrija*, 46(1):187-194.
3. Bogner, A.; Grbac, I.; Mihulja, G. 1999: Zaostala naprezanja u lijepljenim drvnim konstrukcijama. *Drvena industrija*, 50(4):185-191.
4. Mara, A. A. 1962: Geometry as an Independent Variable in Adhesives Joint Studies, *Forest Prod. J.*, February.
5. Mihulja, G. 2003: Metode za ispitivanje čvrstoće lijepljenja drva na smik. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
6. Northcott, P. L. 1955: Possibilities of the Glue-line-Cleavage Tests When Applied to Hardboard. *Forest Prod. J.* 5(2):61-64.
7. Yavorsky, J. M.; Cunningham, J. H.; Hundley, N. G. 1995: Survey of Factors Affecting Strength Tests of Glue Joints. *Forest Prod. J.* 5(10):306-311.
8. **** 2001: ISO 6238 – Adhesives – Wood-to-wood adhesive bonds – Determination of shear strength by compressive loading.

Corresponding address:

Assistant GORAN MIHULJA, 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: mihulja@sumfak.hr