

Nova metoda određivanja udjela lomne površine po drvu kod lijepljenih spojeva

A new method for the determination of the proportion of wood failure area on the glue bond

Prethodno priopćenje · Preliminary paper

Prispjelo – received: 27. 2. 2007.

Prihvaćeno – accepted: 25. 2. 2008.

UDK: 630*824.52

SAŽETAK • Ovaj rad prikazuje postojeće standardne metode za mjerenje i određivanje udjela lomnih površina kroz drvo, nedostatke njihove primjene te usporedbu standardnih metoda s novom metodom. Novom metodom za određivanje udjela loma kroz drvo uklanjaju se nedostaci postojećih metoda odnosno subjektivni utjecaji ispitivača i povećava se preciznost mjerenja. Metoda se temelji na fotografiranju lomnih površina koje se zatim obrađuju i analiziraju računalom. Rezultati pokazuju da je ova metoda objektivnija i točnija od normiranih metoda.

Ključne riječi: lijepljenje drva, lomna površina kroz drvo, elektronsko slikanje, analiza slike.

ABSTRACT • This paper presents the existing standard methods of measurement and determination of the proportion of glued wood failure surface, disadvantages of their use and comparison of standard methods with the new one. The new test method for the determination of the proportion of failure surface eliminates the flaws of standard methods and decreases the subjective effects of the examiner, and at the same time increases the precision of measurement. The method is based on images made with digital camera, which are then processed and analysed by computer. The results show that this method is more objective and more accurate than standard methods.

Key words: wood gluing, wood failure area, digital imaging, computer image analysis.

1. UVOD 1 INTRODUCTION

Ispitivanje kvalitete ljepljivosti danas je vrlo važno u prvom redu zbog međusobnih odnosa između svih pravnih subjekata u lancu proizvodnje proizvoda od drva u kojima se lijepljenje drva koristi. Ono definira granice odgovornosti istih u trenutku nastanka neke greške na proizvodu i korisno je za sve one koji se odgovorno ponašaju prema svome poslu. Ta je važnost

prepoznata i ispitivanja su točno definirana u međunarodnim sustavima normizacije. Najutjecajniji su sustavi EN i ISO koji u slučaju ispitivanja kvalitete ljepljivosti imaju slične pristupe (ISO 6238:2001; HRN EN 204:2003; HRN EN 205:2005). Procesi mjerenja i iska-za rezultata su strogo definirani, ali određivanje udjela loma kroz drvo (po drvu) pod velikim je utjecajem subjektivne procjene ispitivača.

Pouzdana određivanja udjela loma kroz drvo ima veliku važnost kod definiranja kvalitete lijepljenja (Mi-

¹ Autori su redom asistent i izvanredni profesor na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, ² Autor je student na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

¹ The authors are Assistant and Associate Professor at the Faculty of Forestry, Zagreb ² The author is a student at the Faculty of Forestry, Zagreb.

hulja, 2003), ali se prema procedurama u normama izvodi okularnom procjenom udjela površine loma kroz drvo, te se stoga pojavila potreba za usavršavanjem postojeće metode odnosno razvojem nove. Glavni je problem postojeće metode što razni ljudi različito percipiraju vizualne efekte, tako da određivanje udjela loma kroz drvo na lomnoj površini ispitnih proba nije objektivno, te je procjena dodatno otežana kod bijelih ili prozirnih ljepljiva na svijetlim vrstama drva.

ISO i EN norme za analizu lomne površine propisuju određivanje udjela loma kroz drvo na površinama sljuba nakon ispitivanja čvrstoće lijepljenja na smik po točno definiranom postupku koji je opisan u poglavlju 2.2.

Za kvalitetnu provedbu ovakvog postupka potrebno je upoznati i razumjeti činitelje koji utječu na čvrstoću lijepljenog spoja (Mihulja, Bogner, 2005), jer su na ovakvim uzorcima jako male razlike u granicama između loma kroz drvo, loma kroz ljepljivo i loma kroz međusloj, pa dolazi do velikih subjektivnih pogrešaka.

Istraživanjem treba dati objektivnu analizu udjela loma kroz drvo na lomnim površinama uzoraka za ispitivanje čvrstoće lijepljenja. To ispitivanje moguće je provesti digitalnim fotografiranjem odabranih lomnih površina te njihovom računalnom obradom dobiti udjele loma kroz drvo. Shodno tome za pretpostaviti je da će ova metoda dati puno preciznije rezultate uz manja odstupanja kod ponavljanja analize lomne površine nego što su minimalni koraci određivanja udjela loma kroz drvo kod okularne metode koja je definirana u ISO i EN normama.

2. MATERIJALI I METODE 2 MATERIAL AND METHODS

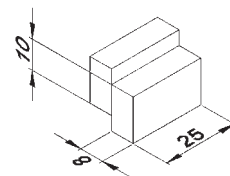
2.1. Izbor materijala 2.1 Material selection

Probe su izrađene od bukovine (*Fagus Silvatica*), kao standardne vrste drva koja se navodi u Europskoj normi 205. ISO standard 6238 sadrži niz vrsta drva koje se mogu koristiti kao standardne za te vrste ispitivanja, a između ostalih navodi i bukovinu, pa je zbog toga i izabrana.

Bukovina je difuzno porozna vrsta drva pa je stoga kod opterećenja naprezanje ravnomjerno raspoređeno između elemenata građe. Jednoličnost građe pogoduje i kvalitetnijoj obradi površine i ujednačenoj debljini ljepljiva u sljubnici.

Materijal za ispitivanje izabran je iz komercijalnog složaja sa standardno proizvedenim drvnim elementima. Izbor i kontrola prosječnih fizikalnih osobina ispitnog materijala u skladu su sa uvjetima ranije spomenutih normi, ali i potrebom da se varijabilnost i utjecajni činitelji svedu na najmanju mjeru, te da promjene tokom pokusa budu uglavnom uvjetovane eksperimentalnim varijablama, a ne varijabilnošću drvnih svojstava. Pri pregledu nisu primijećeni nikakvi nedostaci nastali sušenjem pa je zaključeno da je građa prošla normalan postupak predušenja i sušenja.

Utjecaj starenja površine drva otklonjen je brušenjem prije lijepljenja. Međutim, brušenje izaziva destrukciju stanica na površini, a time izravno utječe na



Slika 1. Modificirani ISO oblik ispitne probe
Figure 1 Modified ISO test specimen

čvrstoću lijepljenja. Kako bi se spriječio negativan utjecaj brušenja na čvrstoću lijepljenja, koristilo se ljepljivo koje penetrira u drvo dovoljno duboko da zahvaća čvrsto neoštećeno staničje. Stoga je u ovom istraživanju upotrijebljeno jednokomponentno PU koje zadovoljava navedene uvjete (Widsten et al, 2006).

Oblik probe ispiljen iz slijepljenih uzoraka (slika 1) dobiven je modifikacijom ISO oblika probe za ispitivanje čvrstoće lijepljenja tlakom (ISO 6238) čime je omogućeno da naprezanja budu nametnuta preciznije u zoni sljubnice (Mihulja, 2003). Izrađeno je 29 proba.

2.2. Metoda analiziranja lomne površine prema normama

2.2 Analysis of wood failure according to standard methods

Metoda okularne analize lomne površine kod ispitivanja kvalitete lijepljenja sastoji se od procjene udjela loma kroz drvo.

Ispitivanja kvalitete lijepljenja (ili ljepljiva, koja se ispituju kroz kvalitetu lijepljenja) točno su definirana u međunarodnim sustavima standardizacije EN i ISO koji imaju slične pristupe. Postupak je definiran slijedećim uputama:

- izvor svjetlosti treba biti pod kutem od 10° do 15° u odnosu na lomnu površinu,
- na izvoru svjetlosti ne smije biti reflektirajućih površina,
- jakost žarulje mora biti 150 W ili fluorescentne lampe 15 W,
- udaljenost izvora svjetlosti (žarulje) od lomne površine mora biti od 150 do 250 mm ili fluorescentne lampe 25 do 75 mm.

Kod ovako definiranih uvjeta promatrač mora odrediti udio loma kroz drvo tako da se rezultati zaokruže na 10%-tne iznose kod ISO normi, a kod EN normi na 0, 25, 50, 75, 100%-tne udjele površine što može izazvati subjektivnu grešku promatrača od 10% kod ISO norme, odnosno 25% kod EN norme.

2.3. Metoda analiziranja lomne površine računalom

2.3 Computer analysis of wood failure

Analiza lomne površine računalom provodi se u nekoliko koraka. Prvo je uzorke potrebno pripremiti te fotografirati digitalnim fotoaparatom. Potom je fotografije potrebno obraditi softverom za obradu slika npr. Corel Draw. Na obrađenim fotografijama lomnih površina softverom *Scion Image* izračunava se udio loma po drvu koristeći se osnovnim sastavnim jedinicama digitalne fotografije „pikselima“.

2.3.1. Tehnike pripreme površine

2.3.1 Techniques of surface preparation

Glavni problem kod razlikovanja elemenata digitalne slike (drvo, ljepljivo ili drvo impregnirano ljepljivom)

su kontrasti i intenziteti boja prema kojima računalni program definira granice koje ih dijele. Budući da je kod proizvodnje ljepila potrebno postići što veću sličnost sa 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 se teško boji te je bojilo trebalo odabrati tako da intenzivnije oboji drvo. Za ovo ispitivanje je prema iskustvu u bojanju preparata za mikroskopska istraživanja anatomije drva korištena je 1% -otna otopina safranina jer ona oboji lignin u drvu. Nakon nanošenja safranina uzorci su sušeni 24 sata da se safranin potpuno veže sa ligninom u drvu.

2.3.2. Izrada slika lomne površine

2.3.2 Electronic imaging of failure surface

U cilju dobivanja još oštrijeg obrisa granice između lomnih površina drvo-ljepilo neposredno prije fotografiranja površina uzoraka je kvašena destiliranom vodom. Sjaj površine vode nestaje nakon pet minuta kada se višak tekućine upije, a intenzitet obojenja drva se povećava.

Fotografiranje se vrši pod difuznim svjetlom čime se izbjegava odblesak od sjajnih površina poput ljepila i parenhimskog staničja, a time se dobiju jasnije površine drva. Difuzno svjetlo dobiveno je zasjenjivanjem fotoaparata i uzoraka kutijom izrađenom od 80 gramskog bijelog mat papira. Od osvjjetljenja se koristilo samo sobno osvjjetljenje laboratorija tj. 4 fluorescentne lampe bez ikakvog utjecaja dnevnog svjetla.

Za fotografiranje je korišten digitalni fotoaparat Olympus CAMEDIA C-4040 sa dodatnom makro lećom žarišne duljine $F = 40$ cm i promjera 55 mm. Fotoaparat je bio pričvršćen na stalak za fotografiranje namješten okomito i u vertikalnoj i u horizontalnoj ravnini, makro lećom udaljen 120 mm od lomne površine proba.

Postavke digitalnog fotoaparata su slijedeće: uključen je TIF format slika sa rezolucijom 1600×1200 , na aparatu je uključena S – grupa s makro opcijom slikanja i podešenim vremenom trajanja otvora blende od 1,6 sekundi kako bi se dobio intenzivniji kontrast. Kontrast je u postavkama aparata dodatno podešen do maksimuma, a uz to su dodana 2 otvora blende. Uključena je i opcija smanjenja smetnji, a osjetljivost je podešena na ISO 100 ASA, te je isključena bljeskalica.

Kvalitetno fokusiranje osigurano je postavljanjem drvenih elemenata svjetlije boje koji su imali jednaku debljinu kao i proba te tako sprječavali krivo fokusiranje aparata (slika 2).

Slike dobivene fotografiranjem obuhvaćale su cijelo vidno područje fotoaparata pa su stoga iste obrađene programom „Corel Photo Paint“ tako da se dobije samo lomna površina (slika 3).

2.3.3. Analiza lomne površine

2.3.3 Analysis of failure surface

Analize pripremljenih fotografija vršene su pomoću programa Scion Image koji je sličnu primjenu imao u istraživanjima nekih anatomskih karakteristika drva (Šefc, 2002). Prilikom učitavanja fotografije u program otvori se manji prozor koji nam prikazuje rezultate (slika 4). Prvo je potrebno prebaciti mjernu skalu u pik-



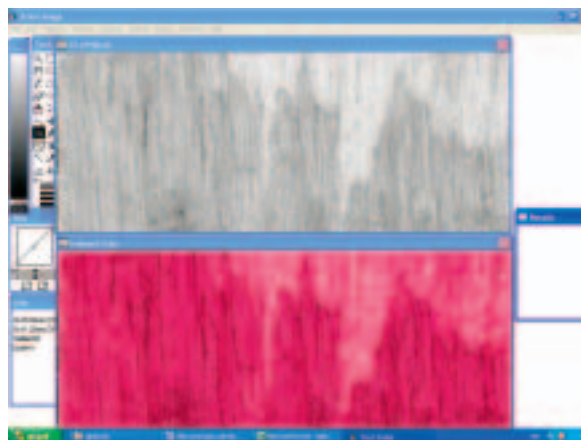
Slika 2. Neobrađena fotografija

Figure 2 Raw image



Slika 3. Fotografija nakon obrade izrezivanja u Corel Photo Paintu.

Figure 3 Preview after crop in Corel Photo Paint



Slika 4. Prikaz rada u programu Scion Image

Figure 4 Working areas in Scion Image

sele zbog dobivanja što preciznijih rezultata. Poslije toga treba označiti prozor s fotografijom i naredbom „Measure“ izračunati ukupan broj piksela fotografije.

U slijedećoj fazi analize potrebno je u padajućem izborniku pokrenuti naredbu „Threshold“ (slika 5).

Pomoću naredbe „Threshold“ program nam sve raspone kontrasta i boja na fotografiji prebacuje u samo dvije osnovne, a to su bijela i crna tako da sve ono što je na fotografiji bilo tamnije tj. lom kroz drvo označi sa crnom, a sve što je bilo svjetlije tj. lom po ljepilu i međusloju u bijelu boju.

Nakon što su dobivene dvije osnovne boje potrebno je aktivirati naredbu „Density Slice“ pomoću koje se površine namijenjene za mjerenje označe crvenom bojom. Na taj se način usporedbom sa površinom loma probe, detaljno definira svaka površina koja predstavlja

Tablica 1. Rezultati na uzorku od 29 proba

Table 1 Results on 29 specimen sample

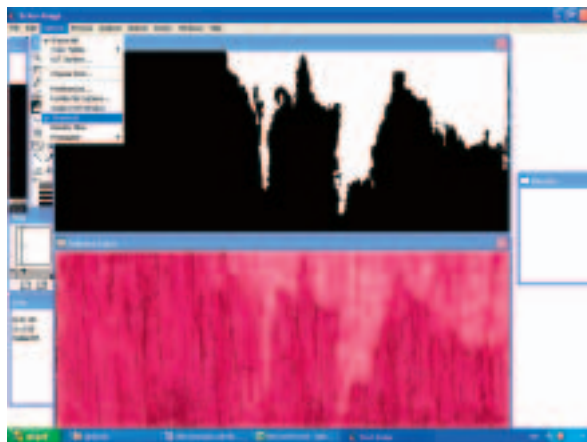
| Uzo- rak br. Sample num. | Ukupna površina piksela Image size piksel | Površina loma kroz drvo <i>Wood failure area</i> | | | Udio loma kroz drvo <i>Wood failure proportion</i> | | | Maks. razlika očitanja <i>Max. difference</i> % | Stand. dev. očitanja <i>Std. dev.</i> |
|-----------------------------------|---|---|--------|--------|---|-------|-------|--|---|
| | | Mjerenje - <i>Measurement</i> piksel | | | Mjerenje - <i>Measurement</i> % | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 244728 | 139121 | 148975 | 153481 | 56,85 | 60,87 | 62,71 | 5,87 | 3,00 |
| 2 | 240279 | 112944 | 103213 | 108468 | 47,01 | 42,96 | 45,14 | 4,05 | 2,03 |
| 2 | 248209 | 140627 | 147233 | 145100 | 56,66 | 59,32 | 58,46 | 2,66 | 1,36 |
| 3 | 250110 | 72430 | 71277 | 72003 | 28,96 | 28,50 | 28,79 | 0,46 | 0,23 |
| 4 | 248850 | 168546 | 168678 | 154955 | 67,73 | 67,78 | 62,27 | 5,51 | 3,17 |
| 5 | 248220 | 110215 | 115327 | 116863 | 44,40 | 46,46 | 47,08 | 2,68 | 1,40 |
| 6 | 249630 | 32456 | 33679 | 34032 | 13,00 | 13,49 | 13,63 | 0,63 | 0,33 |
| 7 | 248850 | 50296 | 52852 | 48693 | 20,21 | 21,24 | 19,57 | 1,67 | 0,84 |
| 8 | 250747 | 51426 | 54423 | 51678 | 20,51 | 21,70 | 20,61 | 1,20 | 0,66 |
| 9 | 248835 | 124696 | 125946 | 123434 | 50,11 | 50,61 | 49,60 | 1,01 | 0,51 |
| 10 | 239976 | 115021 | 112333 | 113097 | 47,93 | 46,81 | 47,13 | 1,12 | 0,58 |
| 11 | 246331 | 192232 | 185708 | 189438 | 78,04 | 75,39 | 76,90 | 2,65 | 1,33 |
| 12 | 249480 | 144011 | 142347 | 141955 | 57,72 | 57,06 | 56,90 | 0,82 | 0,43 |
| 13 | 251381 | 191016 | 191631 | 191195 | 75,99 | 76,23 | 76,06 | 0,24 | 0,12 |
| 14 | 247583 | 210776 | 206423 | 199584 | 85,13 | 83,38 | 80,61 | 4,52 | 2,28 |
| 15 | 247896 | 50345 | 57234 | 49264 | 20,31 | 23,09 | 19,87 | 3,22 | 1,75 |
| 16 | 246480 | 48553 | 49863 | 51450 | 19,70 | 20,23 | 20,87 | 1,18 | 0,59 |
| 17 | 245830 | 58732 | 55611 | 61844 | 23,89 | 22,62 | 25,16 | 2,54 | 1,27 |
| 18 | 248374 | 58569 | 63427 | 65958 | 23,58 | 25,54 | 26,56 | 2,97 | 1,51 |
| 19 | 250110 | 56519 | 55268 | 52502 | 22,60 | 22,10 | 20,99 | 1,61 | 0,82 |
| 20 | 248835 | 85516 | 81028 | 79011 | 34,37 | 32,56 | 31,75 | 2,61 | 1,34 |
| 21 | 247728 | 84569 | 82456 | 71806 | 34,14 | 33,28 | 28,99 | 5,15 | 2,76 |
| 22 | 250425 | 66834 | 69051 | 61681 | 26,69 | 27,57 | 24,63 | 2,94 | 1,51 |
| 23 | 250588 | 61379 | 67352 | 64114 | 24,49 | 26,88 | 25,59 | 2,38 | 1,20 |
| 24 | 249480 | 26435 | 27127 | 24020 | 10,60 | 10,87 | 9,63 | 1,25 | 0,65 |
| 25 | 248352 | 69041 | 71124 | 59104 | 27,80 | 28,64 | 23,80 | 4,84 | 2,59 |
| 26 | 250110 | 82398 | 81488 | 69502 | 32,94 | 32,58 | 27,79 | 5,16 | 2,88 |
| 27 | 237900 | 104311 | 106269 | 99737 | 43,85 | 44,67 | 41,92 | 2,75 | 1,41 |
| 28 | 248040 | 63731 | 62141 | 63534 | 25,69 | 25,05 | 25,61 | 0,64 | 0,35 |
| 29 | 249630 | 54461 | 55445 | 49008 | 21,82 | 22,21 | 19,63 | 2,58 | 1,39 |
| | | | | | Minimalna vrijednost, % <i>Minimum value, %</i> | | | 0,24 | 0,12 |
| | | | | | Maximalna vrijednost, % <i>Maximum value, %</i> | | | 5,87 | 3,17 |

lom kroz drvo, a pritom se svaka slična isključuje iz mjerenja te se time otklanjaju nedostaci nastali pretvorbom trodimenzionalne slike površine u fotografiju.

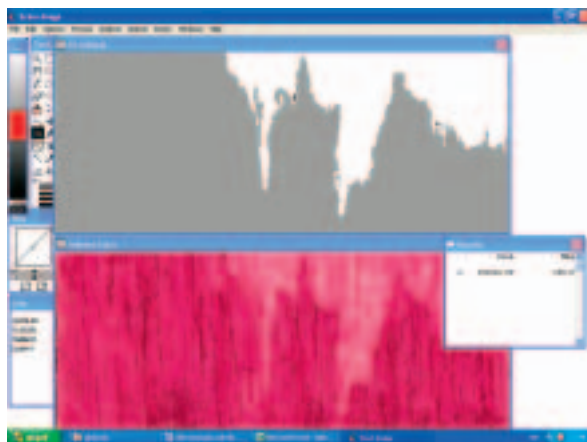
Pokretanjem naredbe „Analyze Particles“ program počinje mjeriti prethodno odabranu površinu (slika 6).

Skala u kojoj program izvršava mjerenje je također u pikselima kao i ukupna prethodno izračunata površina.

Postupak se nakon izvršenog mjerenja za sve probe ponovio još dva puta kako bi mogli utvrditi grešku koja se pojavljuje kod mjerenja.



Slika 5. Uključivanje naredbe „Threshold“
Figure 5 Use of „Threshold“ function



Slika 6. Mjerenje označene površine
Figure 6 Tagged surface measuring

3. REZULTATI 3 RESULTS

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 1. U prvom stupcu su oznake ispitnih proba, u drugom ukupna površina fotografije izražena u pikselima, u trećem, četvrtom i petom stupcu je površina loma kroz drvo izražena u pikselima, a u šestom, sedmom i osmom izračunat je postotni udio loma kroz drvo s preciznošću na drugu decimalu. U stupcu devet izračunat je postotak maksimalne razlike dobivenih rezultata iz tri mjerenja a u desetom stupcu standardna devijacija rezultata mjerenja.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Rezultati koji su dobiveni ovom metodom, kao što je vidljivo iz tablice rezultata, pokazuju malu razliku kod ponavljanja mjerenja. Maksimalna razlika očitanih rezultata iz tri mjerenja kretala se od 0,24 do 5,87 %.

Prema dobivenim rezultatima i malom rasipanju podataka koje smo dobili ovakvom analizom lomne površine, možemo zaključiti da je ova metoda analize znatno objektivnija od metoda koje propisuju ISO i EN

standardi. Prema tim propisima promatrač koji vrši analizu mora zaokruživati rezultat na 10%- tne iznose kod ISO i na 25%- tne iznose udjela loma kroz drvo kod EN standarda, što može izazvati subjektivnu grešku promatrača od 10% odnosno 25%.

Kao otežavajući činitelj primjene nove metode može se navesti točno definiranje granice između loma kroz drvo i loma po ljepilu koje program teže registrira ako fotografiranje nije dovoljno dobro izvedeno pa ih je potrebno dodatno označiti i/ili ucrtati kod usporedne kontrole fotografije i uzoraka. Time postoji mogućnost subjektivne greške, ali kao što je vidljivo u rezultatima mjerenja ta greška je mala i zanemarljiva pa možemo zaključiti da je ova metoda analize lomne površine objektivna jer isključuje različito percipiranje vizualnih efekata, ali je i preciznija od metoda propisanih normama.

Metodu je moguće koristiti za određivanje udjela loma po ljepilu kao i loma po međusloju, ali za razvoj ove metode koristio se samo lom kroz drvo.

5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Bogner, A.; Grbac, I.; Mihulja, G. 1999: Zaostala naprezanja u lijepljenim drvnim konstrukcijama. *Drvena ind.* 50(4):185-191.
2. Mihulja, G. 2003: Metode za ispitivanje čvrstoće lijepljenja na smik. Magistarski rad Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
3. Mihulja, G.; Bogner, A. 2005: Čvrstoća i trajnost lijepljenog drva. Dio 1: Činitelji čvrstoće lijepljenog drva. *Drvena Industrija*, 56(2): 69-78.
4. Šefc, B. 2002: Anatomske značajke drva nekih klonova topole. Magistarski rad Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
5. Widsten, P., Gutowski, V.,S.; Li,S.; Cera, T.; Spicer, M. 2006.: Factors influencing timber gluability with one-part polyurethanes – studied with nine Australian timber species. *Holzforchung*, 60 (4): 423 - 428
6. **** 2001: ISO 6238 – Adhesives – Wood-to-wood adhesive bonds – Determination of shear strength by compressive loading.
7. **** 2003: HRN EN 204 – Klasifikacija termoplastičnih adheziva za drvo za nekonstrukcijske primjene (EN 204:2001).
8. **** 2005: HRN EN 205 – Adhezivi – Adhezivi za drvo za nekonstrukcijske primjene – Određivanje posmične čvrstoće preklonih spojeva (EN 205:2003).

Corresponding address:

MSc. GORAN MIHULJA

Department for furniture and wood products
Faculty of Forestry, Zagreb University
Svetošimunska 25
HR-10000 Zagreb
Croatia
e-mail: mihulja@sumfak.hr