

Metoda procjene svojstava uslojenog drva

Method of Estimation of Laminated Wood Properties

Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Prispjelo – received: 14. 6. 2017.

Prihvaćeno – accepted: 21. 2. 2018.

UDK: 630*832.28; 630*812.7

doi:10.5552/drind.2018.1738

SAŽETAK • Cilj je ovog rada pokazati mogućnost primjene računalnih programa za procjenu mehaničkih svojstava uslojenog drva i njihovu daljnju primjenu u kvantitativnim metodama. Analiza je ograničena na dva mehanička svojstva i na tri debljine furnirskih ploča (4,5; 12; 21 mm). Od mehaničkih svojstava određena su savojna čvrstoća i modul elastičnosti, i to paralelno i okomito na vlakanca vanjskog furnira. Kao ulazni parametri za izradu modela korištena su svojstva materijala s unaprijed definiranim vrijednostima u programu WoodLab PlyCalc, specifičnima za tvrde listae s područja sjeverne Europe (PC-Bu) i svojstva materijala karakteristična za naše podneblje utvrđena eksperimentalnim metodama (EM-Bu) te su dobiveni rezultati uspoređeni s rezultatima ispitivanja furnirskih ploča destruktivnim metodama (FP-D). Nakon analize rezultata zaključeno je da na njihovu točnost povoljno utječe primjena eksperimentalno dobivenih vrijednosti svojstava materijala za definiranje modela te da se razlike između mehaničkih svojstava dobivenih računalnim programom i onih dobivenih ispitivanjem smanjuju s povećanjem debljine furnirske ploče odnosno broja slojeva od kojih je napravljena. Može se zaključiti da uz poznata ograničenja i prednosti takvi računalni programi imaju veće mogućnosti pri odabiru optimalnog materijala za izradu proizvoda.

Gljučne riječi: furnirska ploča, savojna čvrstoća, modul elastičnosti, debljina furnirske ploče, procjena svojstava

ABSTRACT • The aim of this paper is to demonstrate the possibility of applying computer programs for the evaluation of mechanical properties of wood, aiming at their further use in quantitative methods. The analysis is done of two mechanical properties and to three thicknesses of veneer plywood (4.5, 12, 21 mm). Mechanical properties that have been determined are flexural strength and modulus of elasticity, both parallel and perpendicular to the outer veneer fiber direction. Input parameters for the modeling were material properties with predefined values in the software used, and they were specific for Northern European hardwoods (PC-Bu) and material properties characteristic for Croatian area, which were achieved by experimental methods (EM-Bu). The results obtained were compared to the results of testing veneer plywood by destructive methods (FP-D). The analysis of the results shows that experimentally obtained values of the properties of the material for the definition of the model have a beneficial effect on the accuracy of the results. The differences between mechanical properties, obtained by the computer program and those obtained by testing, decrease with the increase of thickness or number of layers of veneer plywood. It can be concluded that, considering the known limitations and advantages, such computer programs provide wider possibilities in choosing the optimal material for product development.

Key words: veneer plywood, bending strength, modulus of elasticity, thickness of veneer plate, property estimation

¹ Autori su, redom, profesor, profesor, studentica i izvanredna profesorica Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska.

¹ The authors are professor, professor, student and associate professor at the Faculty of Forestry of the University of Zagreb, Croatia.

1. UVOD

1 INTRODUCTION

Pojam dizajna najčešće se povezuje s oblikovnim rješenjem. Donedavno je u proizvodnju namještaja bio uključen relativno mali broj različitih vrsta materijala, a oblikovno-konstruktivna rješenja najčešće su bila definirana intuitivnom metodom. Za uspješno dizajniran proizvod kakav je, primjerice, stolica od uslojenog drva *Rex* (Hrovatin, 2010.) nisu dovoljne samo umjetničke vještine već su nužna i inženjerska znanja kojima se, ovisno o namjeni proizvoda, objedinjuju oblikovno-konstruktivna rješenja s materijalom od kojega se proizvod izrađuje (Jackson i Day, 1989.; Prekrat i dr., 2009.). Sustavni odabir najboljeg materijala za određenu primjenu počinje definiranjem svojstava i određivanjem troškova materijala gotovog proizvoda (Dieter, 1997.). Dobro odabrani materijal rezultira i smanjenjem otpada, čime se izravno utječe na zaštitu okoliša.

U razvoju proizvoda moguća su dva pristupa, i to razvoj potpuno novoga, tržištu dotad nepoznatog proizvoda, i poboljšanje svojstava postojećeg proizvoda, što također može dovesti do razvoja novog proizvoda. U oba je slučaja za donošenje ispravne odluke bitno da odabrani materijali odgovaraju postavljenim kriterijima. Najčešći preduvjet pri odabiru materijala jest da on ima zahtijevana svojstva te stoga odabir vrste materijala ponajprije ovisi o vrsti, tipu i području primjene proizvoda za koji odabiremo materijal, a potom i o važnosti postavljenih zahtjeva i kriterija. Da bi se udovoljilo svim postavljenim uvjetima, potrebno je poznavati sva relevantna svojstva materijala jer je upravo materijal osnovni tvorbeni element svakog proizvoda što ga, osim konstrukcijskog rješenja, određuju i njegova uporabna i vrijednosna svojstva. Iz toga proizlazi da je za donošenje odluke o optimalnom odabiru materijala nužno definirati i svojstva koja proizvod mora zadovoljiti (Milton i Rodgers, 2013.; Ulrich i Eppinger, 2015.).

Današnji zahtjevi glede svojstava proizvoda sve su složeniji i stroži, što implicira da je i odabir najpovoljnijeg materijala za neku konstrukciju postao zahtjevniji i složeniji, pogotovo ako se ima na umu da je danas potreba za razvojem novih proizvoda u izravnoj vezi s potrebom odabira optimalne kombinacije materijala koji bi mogli pratiti sva očekivanja postavljena pred proizvod.

Iskorištavanjem različitih fizikalno-mehaničkih svojstava odnosno preferiranjem njihovih maksimalnih ili minimalnih vrijednosti određuje se skup materijala i predlažu grafikoni odabira materijala (Ashby, 1999.).

Metode koje mogu pomoći u izboru materijala ovise o broju postavljenih zahtjeva i ciljeva. Za manji broj zahtjeva primjenjuju se metode utemeljene na kvalitativnoj analizi svojstava materijala koji ulaze u izbor. Te se metode temelje na procjeni svakoga relevantnog svojstva, što osigurava dobivanje objektivne procjene izbora materijala i donošenje ispravne odluke. Ako je broj zahtjeva i kriterija velik, nužno je primijeniti kvantitativne metode, koje omogućuju da se pri izboru materijala koristimo kvantitativnim i kvali-

tativnim kriterijima, što daje objektivniju odnosno pouzdaniju procjenu pri izboru materijala.

Bez obzira na to koja se metoda primjenjuje, jedan od kriterija za odabir uslojenih proizvoda jesu njihova relevantna mehanička svojstva.

Da bi se dobili podatci o relevantnim mehaničkim svojstvima materijala, danas su na raspolaganju različite metode ispitivanja, i to destruktivne i nedestruktivne, te računalni programi koji daju podatke potrebne za procjenu pogodnosti materijala od kojih se izrađuje proizvod.

Nedestruktivno (nerazorno ili bezrazorno) ispitivanje odnosno procjenjivanje postupak je kojim se mogu identificirati neka fizička i mehanička svojstva ili uočiti greške nekog materijala bez narušavanja i mijenjanja njegova izgleda i krajnje uporabnosti (Tanasoiu i dr., 2002.).

Prednost nedestruktivnih metoda testiranja u odnosu prema destruktivnima jest to što one pridonose očuvanju materijala, čime se ostvaruje bolja kontrola kvalitete uz postizanje potpune automatizacije proizvodnje. U tim su ispitivanjima eksperimentalni uzorci manjih dimenzija i na istim je uzorcima moguće odrediti više različitih mehaničkih svojstava. Takve metode ispitivanja omogućuju uvid u stanje materijala bez utjecaja na njegova uporabna svojstva te se mogu primjenjivati u različitim terenskim i atmosferskim uvjetima uz znatno niže troškove testiranja i analize rezultata (Nowak i dr., 2015.).

Druga skupina metoda za određivanje svojstava materijala također je nedestruktivna, ali je utemeljena samo na računalnim programima koji omogućuju dobivanje rezultata za velik broj materijala i njihovih međusobnih kombinacija bez opasnosti od uništenja svojstava materijala destruktivnim ispitivanjima. Za procjenu i analizu svojstava materijala tim metodama materijal ne mora biti fizički prisutan već se analiza provodi na računalnim modelima, što te metode čini ekonomski vrlo prihvatljivima i inženjerski zanimljivima. Iako te metode ne mogu u potpunosti zamijeniti fizička ispitivanja, njima je moguće suziti izbor materijala u fazi projektiranja namještaja ili drugog proizvoda, čime se znatno pridonosi uštedama vremena proizvodnje, uz optimalnu kvalitetu i cijenu finalnog proizvoda.

U ovom će radu biti prikazana metoda utemeljena na računalnom programu koja može poslužiti za procjenu relevantnih svojstava uslojenog drva radi donošenja ispravne odluke pri odabiru materijala ili korištenjem tih podataka u primjeni kvantitativnih metoda za izbor materijala u konstrukciji sklopova ili za izradu proizvoda.

2. MATERIJALI I METODE

2 MATERIALS AND METHODS

Nedestruktivne metode procjene mehaničkih svojstava svoju popularnost zahvaljuju razvoju tehnologije koji je ponudio sofisticiranu, brza i efikasna rješenja za ispitivanje materijala uz pomoć raznih računalnih programa i moderniziranih uređaja koji pri

ispitivanju štede vrijeme i materijal, a istodobno osiguravaju kvalitetan konačni proizvod. Njima se može ispitivati cjelovito drvo, uslojeni drveni proizvodi i ostale ploče s drvnom osnovom. Kao primjer na kojemu će se provesti analize računalnom metodom poslužit će furnirska ploča koja se svojom građom i postupkom izrade svrstava u materijale s projektiranim svojstvima, iako zbog anizotropne građe drva uvijek postoje određena odstupanja realnih vrijednosti od proračunskih. Danas postoji više metoda za ispitivanje svojstava, no u sklopu normi za proizvode od uslojenog drva trenutno je važeća europska odnosno službena hrvatska norma HRN EN 14272 – Računska metoda za pojedina mehanička svojstva. Normom su definirani računski postupci za utvrđivanje relevantnih mehaničkih svojstava furnirske ploče simetrične građe, a proračun se zasniva na vrijednostima mehaničkih svojstava one vrste drva od koje su izrađeni listovi furnira. Svaki par furnira ima svoju geometrijsku veličinu ovisno o njegovu položaju unutar poprečnog presjeka konstrukcije ploče, odnosno karakteriziran je momentom tromosti. Za čvrstoću ploče uzima se u obzir samo čvrstoća onih slojeva koji su orijentirani u smjeru vlakanaca (Kljak i dr., 2005.). Za tu će namjenu biti korišten računalni program WoodLab PlyCalc, koji je u potpunosti utemeljen na normi HRN EN 14272 te će omogućiti dobivanje potrebnih podataka o mehaničkim svojstvima furnirskih ploča.

Kako bi se dobila potpunija slika o pouzdanosti te metode za procjenu mehaničkih svojstava furnirske ploče, dobiveni će se rezultati usporediti s onima dobivenim destruktivnom metodom testiranja ploče. Ispitivanja mehaničkih svojstava destruktivnom metodom provodit će se prema točno određenim pravilima koja propisuje norma HRN EN 310.

S obzirom na to da je cilj ovog rada pokazati mogućnosti primjene računalnih programa za procjenu mehaničkih svojstava uslojenog drva i njihove daljnje primjene u kvantitativnim metodama, analiza će se ograničiti na dva mehanička svojstva i na tri debljine furnirskih ploča (4,5; 12; 21 mm). Od mehaničkih svojstava odredit će se savojna čvrstoća i modul elastičnosti, i to paralelno i okomito na vlakanca vanjskog furnira. Analiza će obuhvatiti tri različite debljine furnirskih ploča jer predviđeni računalni program za izračun mehaničkih svojstava simetrično orijentiranih uslojenih ploča u svojim kalkulacijama uzima u obzir samo naprezanje u slojevima s vlakancima orijentiranim paralelno sa smjerom dužine uzorka, dok se naprezanje u slojevima s vlakancima okomitim na smjer dužine uzorka zanemaruje. Time se želi utvrditi utječe li broj slojeva furnira odnosno debljina furnirske ploče na veličinu potencijalne pogreške izračuna, što je ujedno i najveći nedostatak tog načina izračuna mehaničkih svojstava uslojenih ploča.

U primijenjenoj metodi za izradu modela iskoristit će se svojstva materijala unaprijed definiranih vrijednosti u samom programu, specifičnima za tvrde listiće s područja sjeverne Europe (PC-Bu) i svojstva materijala tipična za naše podneblje dobivena eksperimentalnim metodama (EM-Bu) (tab. 1.).

Tablica 1. Svojstva furnirske sirovine bukovine
Table 1 Properties of beechwood as veneer raw material

Svojstvo / Properties	PC-Bu	EM-Bu
gustoća, kg/m ³ / Density, kg/m ³	650	714
savojna čvrstoća II, N/mm ² Bending strength II, N/mm ²	80	126
vlačna čvrstoća, N/mm ² Tension strength, N/mm ²	80	126
tlačna čvrstoća, N/mm ² Compression strength, N/mm ²	60	53
smicajna čvrstoća, N/mm ² Shear strength, N/mm ²	8	7,5
modul elastičnosti savijanja, N/mm ² Bending modulus of elasticity, N/mm ²	13000	13347
modul elastičnosti smicanja, N/mm ² Shear modulus of elasticity, N/mm ²	720	954

3. REZULTATI I DISKUSIJA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Rezultati mehaničkih svojstava dobiveni destruktivnom metodom ispitivanja furnirskih ploča od bukovih furnira zadanih debljina prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja furnirskih ploča destruktivnim metodama (FP-D)

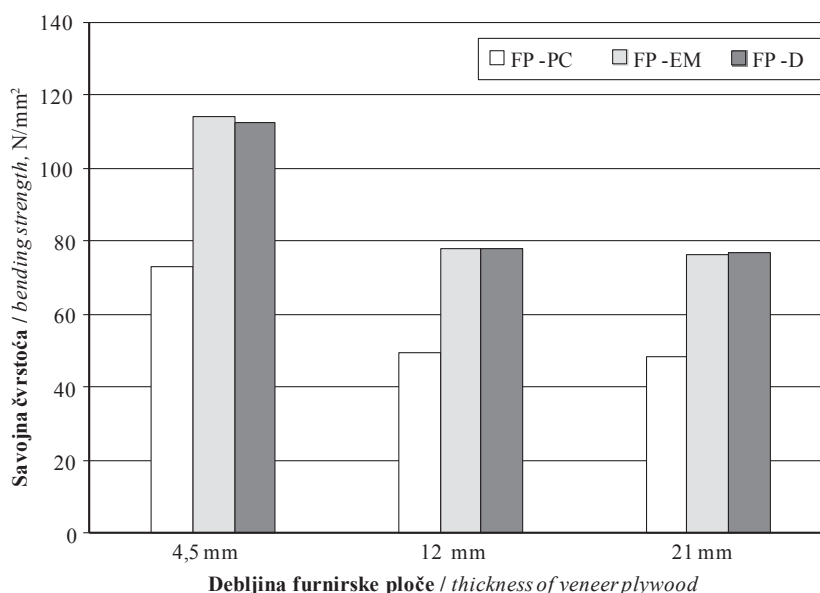
Table 2 Results of destructive testing of veneer boards (FP-D)

Ispitano svojstvo Examined properties	Rezultati ispitivanja Results of test		
debljina, mm Thickness, mm	4,5	12	21
broj slojeva Number of layers	3	7	11
gustoća, kg/m ³ Density, kg/m ³	747	771	762
savojna čvrstoća II, N/mm ² Bending strength II, N/mm ²	112,6	77,9	76,7
savojna čvrstoća ⊥, N/mm ² Bending Strength ⊥, N/mm ²	57,2	67,9	52,5
modul elastičnosti II, N/mm ² Modulus of elasticity II, N/mm ²	13560	7760	9497
modul elastičnosti ⊥, N/mm ² Modulus of elasticity ⊥, N/mm ²	1212	7578	5741

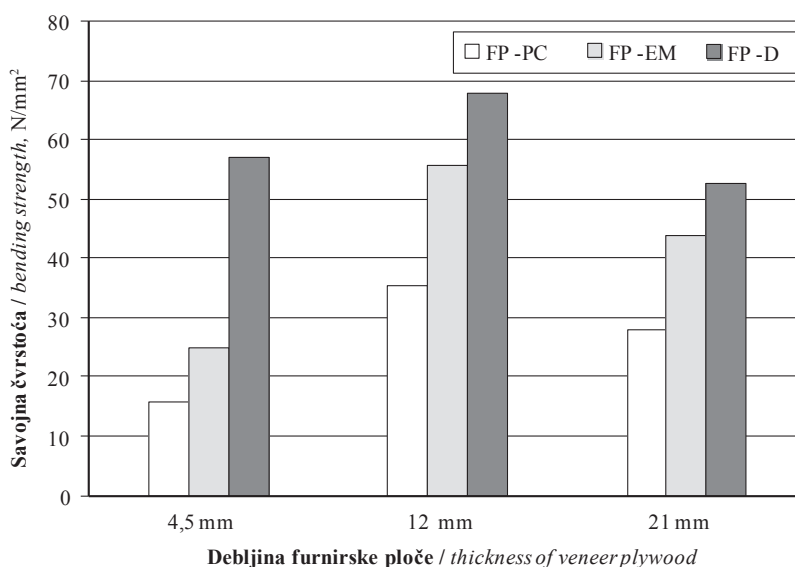
Na grafičkim prikazima slike 1. (a – d) prikazani su rezultati ispitivanja furnirskih ploča za koje su svojstva furnira kao materijala unaprijed definirana u samom programu (FP-PC) i furnirskih ploča čija su svojstva drva od kojega je furnir izrađen dobivena eksperimentalnim metodama (FP-EM) u usporedbi s rezultatima ispitivanja furnirskih ploča destruktivnim metodama (FP-D).

Analizom promatranih svojstava moguće je zaključiti da su pri definiranju modela furnirske ploče primjenom svojstava drva utvrđenih ispitivanjem (EM-Bu) dobivene vrijednosti mehaničkih svojstava furnirskih ploča (FP-EM) mnogo bliže vrijednostima dobivenim eksperimentalnim ispitivanjem mehaničkih svojstava furnirskih ploča (FP-D).

Primjerice, za furnirsku ploču debljine 4,5 mm pri ispitivanju savojne čvrstoće paralelno s vlakanci-



a) Savojna čvrstoća paralelno s vlakancima / bending strength parallel to the grain

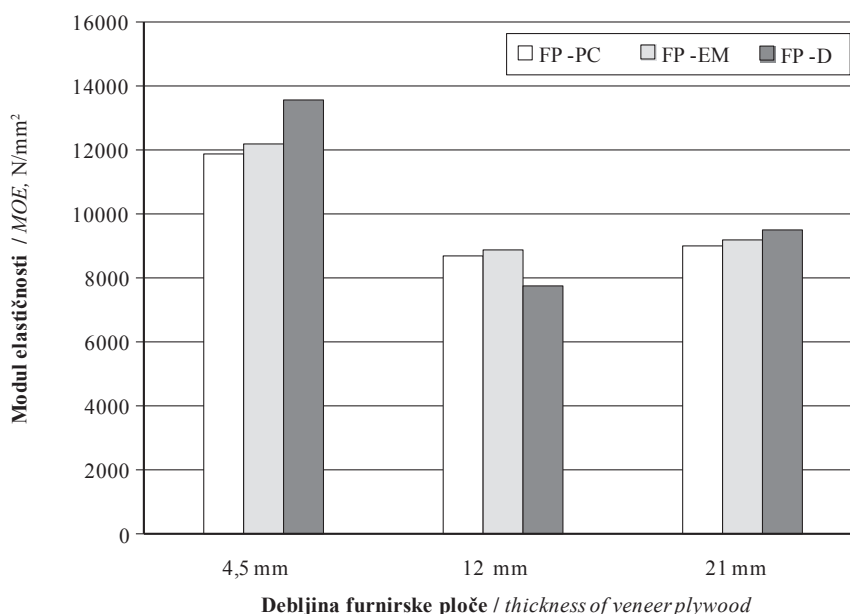


b) Savojna čvrstoća okomito na vlakanca / bending strength perpendicular to the grain

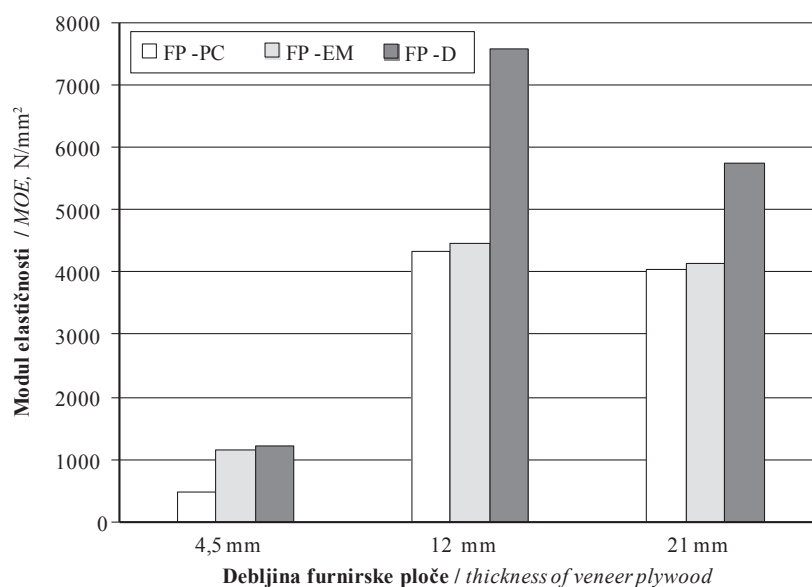
Slika 1. Svojstva furnirskih ploča
Figure 1 Properties of veneer plywoods

ma uvrštenjem unaprijed definiranih vrijednosti materijala (FP-C) i usporedbom sa savojnom čvrstoćom iste ploče dobivenom ispitivanjem (FP-D) razlika između rezultata iznosi 35,2 %, a usporedbom savojne čvrstoće furnirske ploče čiji je model izrađen primjenom eksperimentalno dobivenih vrijednosti svojstava materijala ta razlika iznosi 2,1 %. Usto, iz prikaza rezultata vidljivo je da na točnost dobivenih vrijednosti osim svojstava materijala utječe i analizirani smjer promatranog svojstva. To je bilo i očekivano jer se u kalkulacijama na kojima se primijenjeni program temelji u obzir uzimaju samo naprezanja u slojevima s vlakancima orijentiranim paralelno sa smjerom dužine modela, dok se naprezanja u slojevima s vlakancima okomitim na smjer dužine uzorka ta naprezanja zanemaruju. U promatranom primjeru razlike između rezultata dobivenih računalnim programom i onih do-

bivenih ispitivanjem značajno su veće iako je i u tom slučaju vidljiv pozitivan utjecaj svojstava materijala dobivenih ispitivanjima na kreiranje modela. Tako je vrijednost savojne čvrstoće okomito na vlakanca furnirske ploče debljine 4,5 mm FP-PC 72,4 % manja od one dobivene ispitnim metodama furnirske ploče FP-D jednake debljine, dok je ta razlika za ploču FP-E manja i iznosi 56,5 %. Za furnirske ploče većih debljina i većeg broja slojeva ta se razlika smanjuje te za furnirsku ploču FP-PC debljine 12 mm ona iznosi 47,9 %, a za furnirsku ploču FP-PC debljine 21 mm iznosi 46,9 %. Iako se ta razlika između promatranog svojstva dobivenoga simulacijom i svojstva dobivenoga ispitivanjem s povećanjem debljine ploče smanjuje, ona je i dalje značajno prevelika kad je riječ o vrijednosti svojstava okomito na vlakanca. Iznimkom se pokazala vrijednost modula elastičnosti savijanja



c) Modul elastičnosti paralelno s vlakancima / modulus of elasticity parallel to the grain



d) Modul elastičnosti okomito na vlakanca / modulus of elasticity perpendicular to the grain

okomito na vlakanca za furnirske ploče FP-EM debljine 4,5 mm, za koje razlika u odnosu prema eksperimentalno dobivenoj vrijednosti promatranog svojstva iznosi prihvatljivih 5,9 %. Taj primjer treba dodatno istražiti te utvrditi je li ta činjenica za troslojne furnirske ploče pravilo ili je dobiveni rezultat izuzetak zabilježen samo u ovom ispitivanju.

Povoljnije je, kao što je već rečeno, kada se za definiranje modela primjenjuju svojstva materijala dobivena ispitivanjem. Tada su razlike u vrijednostima promatranog svojstva između furnirske ploče FP-EM debljine 12 mm i furnirske ploče FP-D istovjetne debljine 18,0 %, a za furnirsku ploču FP-EM debljine 21 mm ta je razlika još manja i iznosi 16,4 %. Za odabir najpovoljnijeg rješenja među svih promatranim primjerima, presudna je činjenica da je najbolje rezultate pokazala ploča debljine 21 mm, čiji je model izrađen

primjenom eksperimentalno dobivenih vrijednosti materijala. Savojna čvrstoća paralelno s vlakancima za tu je furnirsku ploču 0,4 % veća od one dobivene ispitivanjima, dok je vrijednost modula elastičnosti savijanja paralelno s vlakancima 3,1 % manja od vrijednosti dobivene ispitivanjem.

4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

1. Na točnost rezultata povoljno utječe primjena eksperimentalno dobivenih vrijednosti svojstava materijala za definiranje modela.
2. U glavnome konstrukcijskom smjeru – paralelno s vlakancima, vrijednosti mehaničkih svojstava dobivene simulacijom iznosima su bliske vrijednostima dobivenim ispitivanjima.

3. Razlike između mehaničkih svojstava dobivenih računalnim programom i onih dobivenih ispitivanjem smanjuju se s povećanjem debljine furnirske ploče odnosno s brojem slojeva od kojih je izrađena.
4. Uz sva poznata ograničenja i prednosti, primijenjeni računalni programi daju veće mogućnosti pri odabiru optimalnog materijala za izradu proizvoda.

5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Ashby, M., 1999: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd ed. Burlington, Massachusetts: Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-4357-9.
2. Dieter, G. E., 1997: Overview of the Materials Selection Process. ASM Handbook, Volume 20: Materials Selection and Design.
3. Hrovatin, J., 2010.: Niko Kralj. PoliTRON, Ljubljana, pp. 1-255.
4. Jackson, A.; Day, D., 1989: Handbuch der Holzbearbeitung. Ravensburger Buchverlag, pp. 1-240.
5. Kljak, J.; Brezović, M.; Jambrečević, V.; Antonović, A., 2005: Predicting mechanical properties of veneer plywood. Wood in construction industry – Durability and Quality of Structural Wood Products, Proceedings. University of Zagreb, Faculty of Forestry.
6. Milton, A.; Rodgers, P., 2013: Research methods for product design. Laurence King Publishing, pp. 1-192.
7. Nowak, T.; Hamrol-Bielecka, K.; Jasieńko, J., 2015: Non-destructive testing of wood – correlation of ultrasonic and stress wave test results in glued laminated timber members. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology, 92: 317-324.
8. Prekrat, S.; Pervan, S.; Smardzewski, J.; Tkalec, S.; Hrovatin, J., 2009: Određivanje kriterija kvalitete namještaja u fazi projektiranja. Drvo je prvo – novi materijali, kvaliteta i dizajn proizvoda, Grbac, I. (ur.). Zagreb, Šumarski fakultet, pp. 107-112.
9. Tanasoiu, V.; Miclea, C.; Tanasoiu, C., 2002: Nondestructive Testing Techniques and Piezoelectric Ultrasonic Transducers for Wood and Built in Wooden Structures. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 4 (4): 949-957.
10. Ulrich, K.; Eppinger, S., 2015: Product Design and Development, 1-448.
11. ***HRN EN 310: 1999: Ploče na osnovi drva – Određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće.
12. ***HRN EN 14272: 2012: Uslojeno drvo – Metode proračuna za pojedina mehanička svojstva.

Corresponding address:

Assoc. Prof. SILVANA PREKRAT, Ph.D.

Faculty of Forestry University of Zagreb
Svetošimunska c. 25
HR-10000 Zagreb, CROATIA
e-mail: prekrat@sumfak.hr