

# DRVNA INDUSTRIJA

ZNANSTVENO STRUČNI ČASOPIS ZA PITANJA DRVNE TEHNOLOGIJE • ZAGREB • VOLUMEN 62 • BROJ 1  
SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL JOURNAL OF WOOD TECHNOLOGY • ZAGREB • VOLUME 62 • NUMBER 1



*Araucaria angustifolia* O. Ktze.

1/11

# DRVNA INDUSTRIJA

ZNANSTVENO STRUČNI ČASOPIS ZA PITANJA DRVNE TEHNOLOGIJE  
SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL JOURNAL OF WOOD TECHNOLOGY

**IZDAVAČ I UREDNIŠTVO**  
**Publisher and Editor's Office**

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Faculty of Forestry, Zagreb University  
10000 Zagreb, Svetošimunska 25  
Hrvatska - Croatia  
Tel. (\*385 1) 235 24 30

**SUIZDAVAČI**  
**Co-Publishers**

Exportdrvo d.d., Zagreb  
Hrvatsko šumarsko društvo, Zagreb  
Hrvatske šume d.o.o., Zagreb

**OSNIVAČ**  
**Founder**

Institut za drvnoindustrijska istraživanja, Zagreb

**GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK**  
**Editor-in-Chief**

Ružica Beljo Lučić

**UREDNIČKI ODBOR**  
**Editorial Board**

Mladen Brezović, Zagreb, Hrvatska  
Denis Jelačić, Zagreb, Hrvatska  
Vlatka Jirouš-Rajković, Zagreb, Hrvatska  
Darko Motik, Zagreb, Hrvatska  
Stjepan Pervan, Zagreb, Hrvatska  
Silvana Prekrat, Zagreb, Hrvatska  
Stjepan Risović, Zagreb, Hrvatska  
Tomislav Sinković, Zagreb, Hrvatska  
Ksenija Šegotić, Zagreb, Hrvatska  
Jelena Trajković, Zagreb, Hrvatska  
Karl - Friedrich Tröger, München, Njemačka  
Štefan Barcik, Prag, Češka  
Jože Resnik, Ljubljana, Slovenija  
Marko Petrič, Ljubljana, Slovenija  
Mike D. Hale, Bangor, Velika Britanija  
Peter Bonfield, Watford, Velika Britanija  
Klaus Richter, Dübendorf, Švicarska  
Jerzy Smardzewski, Poznań, Poljska  
Marián Babiak, Zvolen, Slovačka  
Željko Gorišek, Ljubljana, Slovenija  
Katarina Čufar, Ljubljana, Slovenija

**IZDAVAČKI SAVJET**  
**Publishing Council**

prof. dr. sc. Ivica Grbac (predsjednik),  
prof. dr. sc. Radovan Despot,  
izv. prof. dr. sc. Vladimir Jambreković,  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu;  
Ivan Slamić, dipl. ing., Tvin d.d.;  
Zdravko Jelčić, dipl. oecc., Spin Valis d.d.;  
Vlado Jerbić, dipl. ing., Belišće d.d.;  
Petar Jurjević, dipl. ing., Hrvatsko šumarsko društvo;  
Darko Vuletić, dipl. ing., Hrvatske šume d.o.o.;  
Marin Filipović, dipl. ing., Finvest corp. d.d.;  
Mato Ravlić, Hrast Strizivojna d.o.o.;  
Mladen Galeković, PPS-Galeković Tvornica parketa

**TEHNIČKI UREDNIK**  
**Production Editor**

Stjepan Pervan

**POMOĆNIK TEHNIČKOG UREDNIKA**  
**Assistant to Production Editor**

Zlatko Bihar

**LEKTORICE**  
**Linguistic Advisers**

Zlata Babić, prof. (hrvatski - Croatian)  
Maja Zajšek-Vrhovac, prof. (engleski - English)  
Vitarnja Janković, prof. (njemački - German)

DRVNA INDUSTRIJA je časopis koji objavljuje znanstvene i stručne radove te ostale priloge iz cjelokupnog područja iskorištavanja šuma, istraživanja svojstava i primjene drva, mehaničke i kemijske prerade drva, svih proizvodnih grana te trgovine drvom i drvnim proizvodima.

Časopis izlazi četiri puta u godini.

DRVNA INDUSTRIJA contains research contributions and reviews covering the entire field of forest exploitation, wood properties and application, mechanical and chemical conversion and modification of wood, and all aspects of manufacturing and trade of wood and wood products.

The journal is published quarterly.

OVAJ BROJ ČASOPISA  
POTPOMAŽE:



# Sadržaj

## Contents

### IZVORNI ZNANSTVENI RADOVI

*Original scientific papers* ..... 3-42

**INFLUENCE OF INITIAL WOOD QUALITY AND DRYING PROCESS ON UTILIZATION GRADES OF SAWN SPRUCE TIMBER**  
**Utjecaj polazne kvalitete drva i procesa sušenja na klasu kvalitete smrekove piljene građe**

*Aleš Straže, Željko Gorišek*..... 3-7

**UTJECAJ TOPLINSKE MODIFIKACIJE BUKOVINE NA ČVRSTOĆU DUŽINSKI SPOJENIH TOKARENIH ELEMENATA METODOM ROTACIJSKOG ZAVARIVANJA**  
**Influence of Thermal Modification of Beech on the Strength of Longitudinally Connected Turned Elements by Rotational Welding Method**

*Ivica Župčić, Marko Mijaković, Ivica Grbac*..... 9-17

**THE INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EPOXY ADHESIVES**  
**Utjecaj temperature otvrdnjavanja na reološka svojstva epoksidnih ljepila**

*Maksimilijan Mravljak, Milan Šernek* ..... 19-25

**OPTIMIZATION OF A PRESSING DIAGRAM IN OSB PRESSING**  
**Optimizacija dijagrama prešanja pri prešanju OSB ploča**

*Jaroslav Hrázský, Pavel Král* ..... 27-35

**IMPACT OF RESIN CONTENT ON SWELLING PRESSURE OF THREE LAYER PARTICLEBOARD BONDED WITH UREA-FORMALDEHYDE ADHESIVE**

**Utjecaj sadržaja smole na tlak bubrenja troslojne ploče iverice vezane urea-formaldehidnim ljepilom**

*Sergej Medved, Alan Antonović, Vladimir Jambrečković*..... 37-42

### PRETHODNO PRIOPĆENJE

*Preliminary paper* ..... 43-54

**APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN SIMPLE TOOL WEAR MONITORING AND IDENTIFICATION SYSTEM IN MDF MILLING**  
**Primjena neuronske mreže za jednostavne sustave praćenja i prepoznavanja trošenja alata pri glodanju MDF ploča**

*Marcin Zbić* ..... 43-54

### STRUČNI RAD

*Professional paper* ..... 55-61

**USPOSTAVA I RAZVOJ HRVATSKOG SUSTAVA KONTROLE KVALITETE DRVNIH PLOČA UTEMELJENOG NA EUROPSKOJ TEHNIČKOJ REGULATIVI**

**Establishment and Development of Croatian Quality Control System for Wood-Based Panels in Accordance with European Technical Regulations**

*Vladimir Jambrečković, Jaroslav Kljak, Nikola Španić, Miljenko Klarić*..... 55-61

### SAJMOVI I IZLOŽBE

*Fairs and exhibitions* ..... 62-75

### UZ SLIKU S NASLOVNICE

*Species on the cover* ..... 76-77

### BIBLIOGRAFIJA

*Bibliography* ..... 78-82

**NAKLADA (Circulation):** 700 komada · **ČASOPIS JE REFERIRAN U (Indexed in):** CA search, CAB Abstracts, Compendex, DOAJ, EBSCO, Forestry abstracts, Forest products abstracts, Geobase, Paperchem, SCI-Expanded, SCOPUS · **PRILOGE** treba slati na adresu Uredništva. Znanstveni i stručni članci se recenziraju. Rukopisi se ne vraćaju. · **MANUSCRIPTS** are to be submitted to the editor's office. Scientific and professional papers are reviewed. Manuscripts will not be returned. · **KONTAKTI s uredništvom (Contacts with the Editor) e-mail:** editordi @sumfak.hr · **PRETPLATA (Subscription):** godišnja pretplata (annual subscription) za sve pretplatnike 55 EUR. Pretplata u Hrvatskoj za sve pretplatnike iznosi 300 kn, a za đake, studente i umirovljenike 100 kn, plativo na žiro račun 2360000 - 1101340148 s naznakom "Drvena industrija" · **ČASOPIS SUFINANCIRA** Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. · **TISAK (Printed by)** - DENONA d.o.o., Getaldićeva 1, Zagreb, tel. 01/2361777, fax. 01/2332753, E-mail: denona@denona.hr; URL: www.denona.hr · **DESIGN** Aljoša Brajdić · **ČASOPIS JE DOSTUPAN NA INTERNETU:** <http://drvnaindustrija.sumfak.hr> · **NA-SLOVNICA** Uzdužni presjek drva *Araucaria angustifolia* O. Ktze., ksiloteka Zavoda za znanost o drvu, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

DRVNA INDUSTRIJA · Vol. 62, 1 · str. 1-84 · proljeće 2011. · Zagreb  
 REDAKCIJA DOVRŠENA 28.2.2011.

Aleš Straže, Željko Gorišek<sup>1</sup>

# Influence of Initial Wood Quality and Drying Process on Utilization Grades of Sawn Spruce Timber

## Utjecaj polazne kvalitete drva i procesa sušenja na klasu kvalitete smrekove piljene grade

### Original scientific paper • Izvorni znanstveni rad

Received – prispjelo: 23. 9. 2010.

Accepted – prihvaćeno: 25. 2. 2011.

UDK: 630\*851; 630\*852.3; 630\*854.2

doi:10.5552/drind.2011.1030

**ABSTRACT** • European spruce (*Picea abies* Karst.) belongs to the most easily dried wood species, but nevertheless cracking and warping often reduce the quality of dried sawnwood. Larger surface and end cracking was noticed at industrial drying practice in cold winter season, especially in using fast drying schedules. For the assessment of factors influencing the quality of dried wood some drying runs with varying drying conditions were carried out in an experimental kiln dryer. The quality of sawnwood was evaluated on green material using standard procedures and compared with the quality at the end of drying processes. Drying of spruce sawnwood at sharper drying conditions was more risky, resulting in a larger number of cracks as well as larger final MC distribution, larger MC gradients and casehardening. Additionally, significant correlation was confirmed between the quality of dried wood and input quality of fresh material. More downgrading after the drying was observed in case of initially low graded material.

**Keywords:** wood, drying, drying quality, grading

**SAŽETAK** • Europska smreka (*Picea abies* Karst.) pripada skupini vrsta drva koje se lako suše, ali pukotine i deformacije koje nastaju u procesu sušenja često umanjuju kvalitetu osušenih piljenica. Pukotine na većim površinama i čelu piljenica zabilježene su u praksi industrijskog sušenja tijekom hladnih zima, posebno pri brzim režimima sušenja. Za ocjenu utjecajnih činitelja na kvalitetu sušenog drva, u eksperimentalnoj je sušionici provedeno nekoliko ciklusa sušenja s različitim uvjetima sušenja. Kvaliteta sirovih piljenica procijenjena je standardnim metodama i uspoređena s kvalitetom na kraju procesa sušenja. Sušenje smrekovih piljenica u oštrijim je uvjetima rizičnije jer rezultira mnogim pukotinama i većom raspodjelom konačnog sadržaja vode, većim gradijentom sadržaja vode i pojavom skorjelosti. Uz to, potvrđena je i signifikantna korelacija između kvalitete sirovih i osušenih piljenica. Više grešaka i smanjenje kvalitete osušenih piljenica zabilježeno je pri sušenju sirovih piljenica lošije kvalitete.

**Cljučne riječi:** drvo, sušenje, kvaliteta sušenja, klasiranje

<sup>1</sup> Authors are assistant and associate professor at Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia.

<sup>1</sup> Autori su asistent izvanredni profesor na Biotehničkom fakultetu Sveučilišta u Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.

## 1 INTRODUCTION

### 1. UVOD

To be competitive in wooden industry and in the open market, the quality of our products and processes must be well defined. Wood quality depends on many different factors, related to wood material itself and to factors within industrial production.

The definition of round and sawn wood quality includes such properties as knots, annual ring width, fibre orientation and resin pockets, together with defects caused by insects and fungi (EN 1310, EN 1311). Actually, the European spruce sawn timber classification, is often performed by visual grading (EN 1611-1), or in case of more strict demands, especially in construction sector, by machine grading. Wood quality assessment is necessary at several production levels for increasing the utilization rate of material and shortening of processing. For maintaining the wood quality through its processing, it is necessary to apply successful production methods. Wood drying, as one of the primary processing steps, plays an important role for achieving applicable material characteristics. Therefore, several standards for the assessment of drying quality have been recently prepared, defining measuring techniques (EN 13183-1, EN 13183-2, EN 13183-3), sampling requirements and criteria of drying quality (EN 14298, ENV 14464).

Quality of dried wood might diverge due to different parameters, such as the drying schedule, wood moisture gradient, and also due to the structure of different wood species and dimension of specimens (Oltean *et al.*, 2007). In most studies the accelerated drying schedule significantly reduced the strength of wood while the allowable stiffness was not affected (Bekhta and Niemz, 2003; Müller *et al.*, 2003). Higher temperature during the drying process is the main reason for decomposition of hemicelluloses, celluloses and lignin as the principal wood components with the permanent influence on strength reduction (Tjeerdsma *et al.*, 1998). Otherwise, conventional kiln drying had only minor effects on the microstructure of wood (Terziev and Daniel, 2002).

Another negative outcome of the loss of mechanical properties of wood during drying is the occurrence of different cracks, such as surface cracks, end cracks and splits, collapse and honeycomb. Most of cracks (even honeycomb) were initiated during first stages of drying, caused by high tensile stresses on the surface of the dried boards. The potential way to confirm the appearance of micro-cracks on the surface of sawn timber at the early stage of drying and monitor their development and growth was achieved by the method with the focus laser beam reflection (Hanhijärvi *et al.*, 2003).

Occurrence of warp, mainly twist, crook and bow caused most severe problems leading to wood downgrading during drying. The grain angle and distance from the pith to the centre of the board cross-section are the two material parameters most commonly associated with warp (Booker, 2005; Bäckström and Johansson, 2006). Twisting of the dried boards generally increased proportionally to the reduction in avera-

ge moisture content (Gorišek *et al.*, 2006; Gorišek and Straže, 2005; Straže *et al.*, 2010). Decrease in torque and twist was achieved by increasing the drying temperature and presteaming of the material prior to drying (Kliger *et al.*, 2005; Frühwald, 2006).

The aim of this paper is to verify the influence of various conventional kiln drying procedures on the quality of European spruce sawnwood. In addition, the objective of the survey is to examine the difference in grading prior and after kiln drying and the usability of pre-sorting of sawn wood in green state.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2. MATERIЈAL I METODE

Fifteen randomly selected logs of European spruce (*Picea abies* Karst.), having an average diameter of 26 cm, 4 m in length, were used in the experiment. Logs were sawn into 19 mm thick boards, which were additionally shortened to 2 m in length, to suit the kiln drier dimensions. Afterwards, classification of 90 green boards, of radial (1/3), radial-tangential (1/3) and tangential orientation (1/3) was performed, following standard quality assessment and appearance grading rules (EN 1310, EN 1311, EN 1611-1).

Three conventional kiln drying experiments were carried out afterwards in laboratory kiln drier, using stepwise raising drying temperature from 60 °C to 70 °C, at 2.5 m/s air velocity. Different drying rates were achieved by varying the drying gradient. Wood moisture content (MC) was continuously determined by electrical resistance method and gravimetrically, by weighting of timber stack. Appearance grading was carried out once again on the same population of boards at the end of each drying procedure. Drying quality of boards was additionally assessed by gravimetric determination of final MC, moisture gradient (EN 14298) and by casehardening determination (ENV 14464).

## 3 RESULTS AND DISCUSSION

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

#### 3.1 Drying kinetics

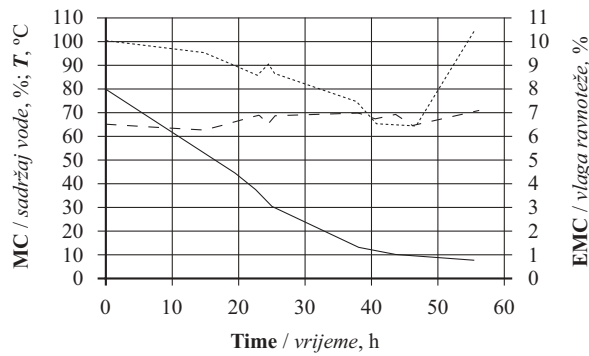
##### 3.1. Kinetika sušenja

The slowest drying, taking 56 h, was achieved at drying under mild drying conditions (procedure 1), which is generally ascribed to high equilibrium moisture content (EMC) (Fig. 1). Sharper drying condition attained with decreasing of EMC (on average by 2%) significantly increased the drying rate in drying procedure 2. The drying procedure 2 was 14% shorter, and lasted 47.5 h (Fig. 2). The fastest drying was attained by additional decrease of EMC in the third run, with EMC below 7%, while the average MC was still above fibre saturation. Consequently, the drying procedure 3 lasted only 43.5 h (Fig. 3).

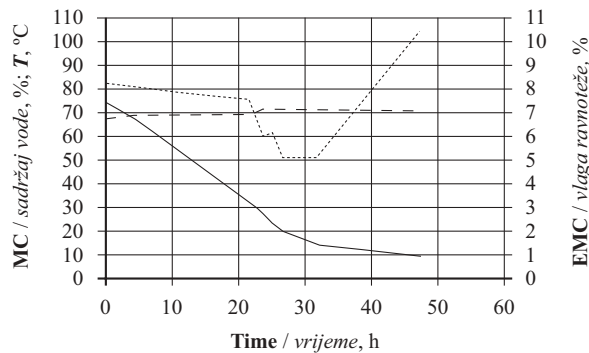
#### 3.2 Drying quality

##### 3.2. Kvaliteta sušenja

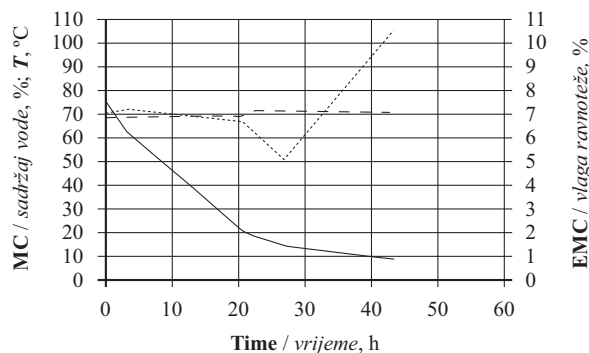
The final MC was less than 9% in all examined drying procedures, where the lowest and most homo-



**Figure 1** Moisture content – timber stack weight basis (—), drying temperature (---) and EMC (...) in drying procedure 1  
**Slika 1.** Sadržaj vode na osnovi mase složaja piljenica (—), temperatura sušenja (---) i EMC (...) pri 1. procesu sušenja



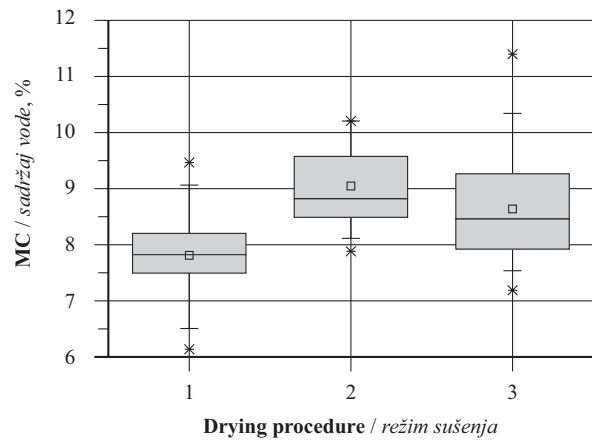
**Figure 2** Moisture content – timber stack weight basis (—), drying temperature (---) and EMC (...) in drying procedure 2  
**Slika 2.** Sadržaj vode na osnovi mase složaja piljenica (—), temperatura sušenja (---) i EMC (...) pri 2. procesu sušenja



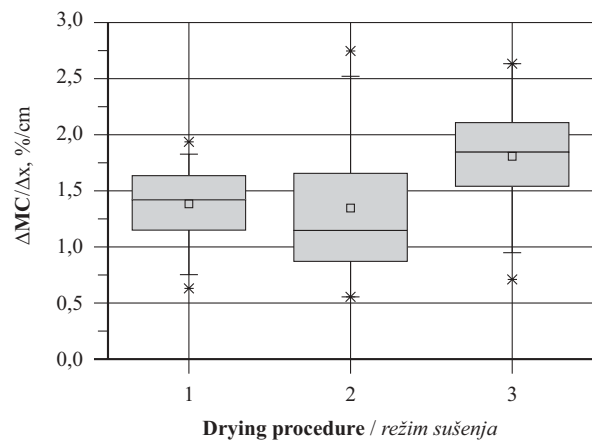
**Figure 3** Moisture content – timber stack weight basis (—), drying temperature (---) and EMC (...) in drying procedure 3  
**Slika 3.** Sadržaj vode na osnovi mase složaja piljenica (—), temperatura sušenja (---) i EMC (...) pri 3. procesu sušenja

genous final MC was achieved under mild drying conditions. Accelerated drying, in case of procedure 2 and 3, significantly increased the final MC variation (Fig. 4a). The final moisture gradient, using slicing of specimens into 3 layers, was also the lowest and most homogeneous with boards dried in drying procedure 1. Similar average moisture gradient, namely 1.3 %/cm, was also achieved in drying procedure 2, and however it was more variable (CV = 0.43; Coeff. of Variation). The highest average moisture gradient of 1.8 %/cm was achieved in drying procedure 3 (Fig. 4b).

Similar differences in drying quality between the examined procedures confirmed also the comparison of casehardening, using slicing method (ENV 14464).



a)

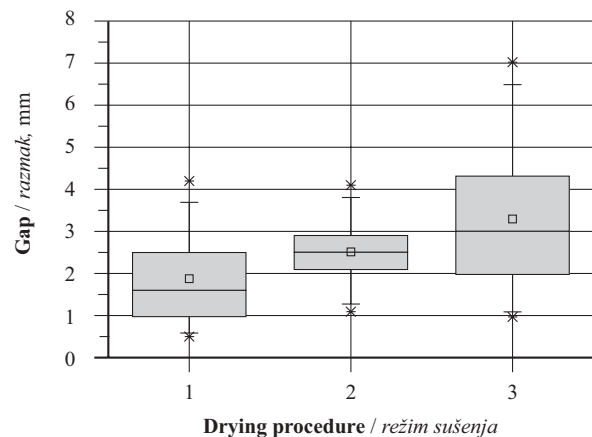


b)

**Figure 4** Average final moisture content and its variation (a) and achieved moisture gradient (b) in examined drying procedures

**Slika 4.** Prosječni konačni sadržaj vode i njegova varijacija (a) te postignuti gradijent sadržaja vode (b) u istraživanim režimima sušenja

The smallest casehardening was determined with boards in drying procedure 1, whereas accelerated drying, in procedures 2 and 3, significantly increased its values (Fig. 5).



**Figure 5** Average casehardening and its variation with boards dried in examined drying procedures

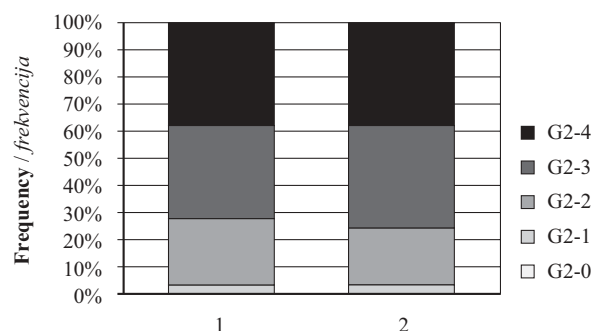
**Slika 5.** Prosječna skorjelost osušenih piljenica i njezina varijacija u istraživanim režimima sušenja

### 3.3 Appearance grading

#### 3.3. Klasiranje na temelju izgleda piljenica

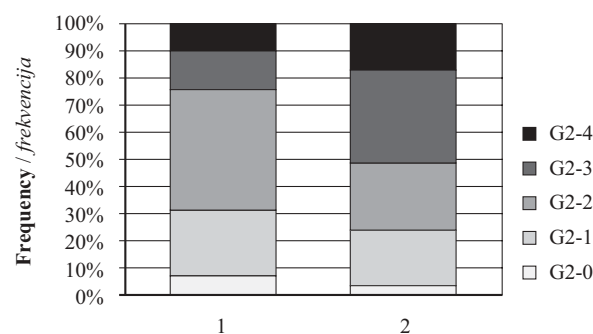
Consecutive grading, i.e. before and after drying, into five grading classes (G2-0 to G2-4) confirmed significant influence of the drying process on sawn wood quality. Most often, defects like surface and end checks and warping degraded the dried sawnwood. Surface and end checking of wood started already in the early beginning of all drying procedures and reached final state of MC around FSP. Warping of wood followed afterwards, during drying at MC below FSP, and reached maximum values at final MC. In general, significantly different drying quality changes occurred on initially equally graded sawnwood depending on used drying procedures.

The slowest drying procedure caused negligible downgrading of sawnwood, i.e. 1 class reduction, only on the initially low quality material, graded in class 3 (G2-2) or less (Fig. 6). Acceleration of kiln drying, by using procedure 2 and 3, consequently distinctly downgraded dried sawnwood. The use of drying procedure 2 caused severe downgrading, namely 25% of boards, at initially low graded sawn wood, from classes 3 and 4 (G2-2 and G2-3) (Fig. 7). The highest quality decrease, reduction of even 4 classes, was observed for the fastest drying, using drying procedure 3. Downgrading was present with 33% of boards, irrespective of the sawnwood grading before drying (Fig. 8).

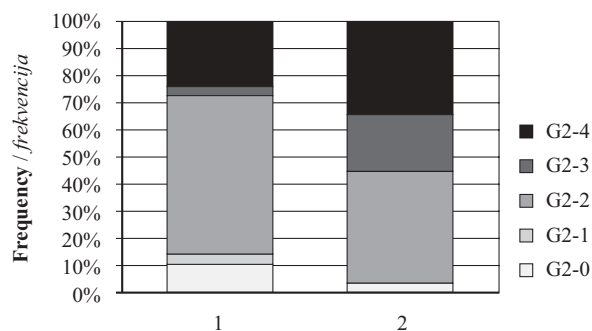


**Figure 6** Frequency distribution of graded spruce sawnwood before (1) and after drying (2) by procedure 1 (G2-0...1<sup>st</sup> class; G2-4...the last class)

**Slika 6.** Raspodjela frekvencija klasa kvalitete piljenica prije sušenja (1) i nakon sušenja (2) pri 1. režimu sušenja (G2-0...prva klasa; G2-4...posljednja klasa)



**Figure 7** Frequency distribution of graded spruce sawnwood before (1) and after drying (2) by procedure 2. **Slika 7.** Raspodjela frekvencija klasa kvalitete piljenica prije sušenja (1) i nakon sušenja (2) pri 2. režimu sušenja



**Figure 8** Frequency distribution of graded spruce sawnwood before (1) and after drying (2) by procedure 3. **Slika 7.** Distribucija frekvencija klasa kvalitete piljenica prije sušenja (1) i nakon sušenja (2) pri 3. režimu sušenja

Reduction of the moisture gradient was in many conventional kiln drying processes achieved by inter-phase or final conditioning of material (Salin, 2004). The conditioning phase is also recommended to decrease the drying stress, to lessen the visibility of cracks and even to reduce possibly present honeycomb and collapse (Keey, 2002). In addition, low graded material often possesses inherent specific structural properties, like high knottiness, high slope of grain, presence of reaction and juvenile wood (Folvik, 2004). To prevent downgrading and incorrect grading results, slow drying and use of conditioning phase is recommend with initially low graded material, or grading of the material after the drying procedure.

## 4 CONCLUSIONS

### 4. ZAKLJUČCI

This survey confirmed the dependence of the results of sawnwood grading on the used drying procedure. The research showed the applicability of appearance grading of sawnwood before the drying process, when the latter is properly and carefully performed. On the other hand, too aggressive or inappropriately controlled drying process easily downgrades dried sawnwood. In such cases, the shortened drying procedure contributes to greater drying capacities and simultaneously increases the risk of wood quality degradation. Generally, grading of sawnwood after kiln drying is recommended.

## 5 REFERENCES

### 5. LITERATURA

1. Bekhta P.; Niemz, P., 2003: Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung* 57: 539-546. doi:10.1515/HF.2003.080
2. Bäckström, M.; Johansson, M., 2006: Analytical model of twist in Norway spruce (*Picea abies*) timber. *Scand J For Res* 21:54-62. doi:10.1080/02827580500470271
3. Booker, R.E., 2005: Geometric model to predict twist in unrestrained boards. *Wood Sci Technol* 39:269-289. doi:10.1007/s00226-004-0260-6
4. Folvik, K.; Sandland, K.M., 2004: Various wood properties influencing the development of checks in knots du-

- ring drying. In: COST E15 conference, proceedings, Athens, 7p.
5. Frühwald, E., 2006: Improvement of shape stability by high temperature treatment of Norway spruce: Effect of drying at 120 °C with and without restraint of twist. *Holz als Roh- Werkstoff* 64:24–29. doi:10.1007/s00107-005-0039-y
  6. Gorišek, Ž.; Straže, A., 2005: Influence of wood structure on the warping quality in Norway spruce (*Picea abies* Karst.) during kiln drying. In: International conference: wood in the construction industry, proceedings, Jambreković V. (ed), Zagreb, 124p.
  7. Gorišek, Ž.; Straže, A.; Gornik-Bučar, D.; Bučar, B., 2006: Influence of some anatomical and physical properties of wood on warp during kiln drying of spruce (*Picea abies* Karst.) and silver fir (*Abies alba* Mill.). In: COST E40, proceedings, Teischinger A. (ed), Biel:67–72.
  8. Hanhijärvi, A.; Wahl, P.; Räsänen, J.; Silvennoinen, R., 2003: Observation of development of microcracks on wood surface caused by drying stresses. *Holzforschung* 57:561–565. doi:10.1515/HF.2003.083
  9. Keey, R.B.; Nijdam, J.J., 2002: Moisture movement on drying softwood boards and kiln design. *Drying Technology* 20(10):1955-1974. doi:10.1081/DRT-120015578
  10. Kliger, R.; Bengtsson, C.; Johansson, M., 2005: Comparison between HT and LT-dried spruce timber in terms of shape stability and dimensional stability. *Holzforschung*, 59:647–653. doi:10.1515/HF.2005.104
  11. Müller, U.; Joščák, T.; Teischinger, A., 2003: Strength of dried and re-moistened spruce wood compared to native wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61:439-443. doi:10.1007/s00107-003-0414-5
  12. Oltean, L.; Teischinger, A.; Hansmann, C., 2007: Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during kiln drying. A review. *BioResources* 2(4):789-811.
  13. Salin, J.G., 2004: Methods to minimize the spread in final MC caused by the natural variation in wood properties. In: COST E15 conference, proceedings, Athens, 7p
  14. Straže, A.; Kliger, R.; Johansson, M.; Gorišek, Ž., 2010: The influence of material properties on the amount of twist of spruce wood during kiln drying. *Holz als Roh und Werkstoff*, doi.org/10.1007/s00107-010-0422-1
  15. Terziev, N.; Daniel, G., 2002: Industrial kiln drying and its effect on microstructure, impregnation and properties of Scots pine timber impregnated above ground use. Part 2. Effect of drying on microstructure and some mechanical properties of Scots pine wood. *Holzforschung*, 56: 434-439. doi:10.1515/HF.2002.067
  16. Tjeerdsmas, B.; Boonstra, M.; Pizzi, A.; Tekely, P.; Militz, H., 1998: Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56: 149-153. doi:10.1007/s001070050287
  17. \*\*\* EN 1310. Round and sawn timber – Method of measurement of features. 1997:20p
  18. \*\*\* EN 1311. Round and sawn timber – Method of measurement of biological degrade. 1997:8p
  19. \*\*\* EN 1611-1:2003. Sawn timber. Appearance grading of softwoods. European spruces, firs, pines and Douglas firs. 2000:11p
  20. \*\*\* EN 13183-1. Moisture content of a piece of sawn timber. Determination by oven dry method. 2002:8p
  21. \*\*\* EN 13183-2. Moisture content of a piece of sawn timber. Determination by electrical resistance method. 2002: 10p
  22. \*\*\* EN 13183-3. Moisture content of a piece of sawn timber. Determination by capacitance method. 2005:14p
  23. \*\*\* EN 14298. Sawn timber. Assessment of drying quality. 2006:12p
  24. \*\*\* ENV 14464. Sawn timber. Method of assessment of case-hardening. 2003:8p

**Corresponding address:**

Assistant ALEŠ STRAŽE, Ph.D.

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty  
Department of Wood Science and Technology  
Rožna dolina, C. VIII/34  
SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: ales.straze@bf.uni-lj.si



Vodeći informativni  
časopis u sektoru  
prerade drva i  
proizvodnje namještaja

Distribucija na  
2000 stručnih  
adresa u Hrvatskoj  
i zemljama Regije

Šest brojeva godišnje,  
26 rubrika s  
aktualnostima,  
besplatnim malim  
oglasima i tržišnim  
barometrom

Tjedne elektronske  
vijesti s pregledom  
najnovijih  
informacija



## TJEDNO BESPLATNO DOSTAVLJAMO SEKTORSKE VIJESTI NA VAŠ E-MAIL

REGISTRIRAJTE SE: [newsletter@drvo-namjestaj.hr](mailto:newsletter@drvo-namjestaj.hr)

Izdavač: Centar za razvoj i marketing d.o.o.  
J. P. Kamova 19, 51 000 Rijeka

Tel.: + 385 (0)51 / 458-622, 218 430, int. 213  
Faks.: + 385 (0)51 / 218 270  
E-mail: [mail@drvo-namjestaj.hr](mailto:mail@drvo-namjestaj.hr)

[www.drvo-namjestaj.hr](http://www.drvo-namjestaj.hr)

# STRUČNI ČASOPIS



TEMATSKI PRILOZI

# Utjecaj toplinske modifikacije bukovine na čvrstoću dužinski spojenih tokarenih elemenata metodom rotacijskog zavarivanja

## Influence of Thermal Modification of Beech on the Strength of Longitudinally Connected Turned Elements by Rotational Welding Method

### Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

*Prispjelo – received: 20. 10. 2010.*

*Prihvaćeno – accepted: 25. 2. 2011.*

*UDK: 630\*824; 674.028.1*

*doi:10.5552/drind.2011.1034*

**SAŽETAK** • Tehnika rotacijskog zavarivanja drva noviji je način spajanja drvenih dijelova bez upotrebe ljepila, uz pomoć topline koja nastaje trenjem elemenata koje spajamo. Tijekom procesa zavarivanja zbog utjecaja tlaka i topline rastali se površinski sloj drva (lignin i drvene polioze) koji je u međusobnom kontaktu. Istraživanje se temelji na ispitivanju utjecaja toplinske modifikacije i vode (sobne temperature) na čvrstoću zavarenog spoja. Ispitni su uzorci bili dužinski spojeni tokareni elementi izrađeni od bukovine. Toplinski modificirano drvo može se uspješno zavarivati. Rezultati istraživanja pokazali su da se s porastom temperature toplinske modifikacije i potapanjem uzoraka u hladnu vodu (20 °C) izvlačna sila, odnosno čvrstoća spoja smanjuje s porastom gubitka mase pri termičkoj modifikaciji smanjuje se izvlačna sila. U uzoraka koji su bili izloženi utjecaju vode najveća je čvrstoća spoja zabilježena pri zavarivanju drva modificiranoga na 140 °C, a najmanja pri zavarivanju drva modificiranoga na 180 °C.

**Ključne riječi:** bukovina, zavarivanje masivnoga i modificiranog drva, čvrstoća zavarenog spoja, dužinsko spajanje

**ABSTRACT** • Wood welding technique is a newer way of connecting wooden parts without using glue with the temperature usually achieved by friction of elements that are connected. During the welding process, due to the influence of pressure and temperature, the surface wood layer (lignin and polyoses) is melted. The research is based on an examination of the influence of thermal modification and the impact of water (room temperature) on the strength of welded joints. Test samples were longitudinally connected turned elements made of solid beech wood. Thermally modified wood can be successfully welded. The results showed that increasing the temperature

<sup>1</sup> Autori su viši asistent, student i profesor na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika Hrvatska.

<sup>1</sup> Authors are senior assistant, student and professor at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

*of thermal modification and immersing the samples in cold water (20 °C) cause the decrease of embedded force and tensile strength, respectively. The research has also shown that the increase in weight loss during thermal modification reduces the tensile forces. With samples immersed in cold water, the highest joint strength was recorded in welding thermally modified wood at 140 °C and the lowest joint strength was recorded in welding thermally modified wood at 180 °C.*

**Key words:** *beech, welding of solid and modified wood, strength of welded joints, longitudinal bonding*

## 1. UVOD 1 INTRODUCTION

Zavarivanje drva trenjem proces je u kojemu se zbivaju kemijsko-fizikalne reakcije, zbog trenja nastaje toplina koja tali i omekša strukturu drva, a hlađenjem tako nastale taline dobiva se čvrsti spoj. Metodom zavarivanja mogu se uspješno spojiti dva ili više elemenata drva bez dodavanja bilo kakvog ljepila ili vezivnog sredstava. Na površinama koje se dodiruju zbog trenja se pojavljuje povišena temperatura koja omekša i rastali strukturu drva (lignin i hemicelulozu) te nataju kemijske promjene. Kemijske promjene počinju s početkom zavarivanja i traju i nakon prestanka zavarivanja (u fazi skrućivanja taline). Hlađenjem struktura drva otvrdnjava te čini čvrsti spoj. Kemijske promjene koje nastaju u drvu nisu obuhvaćene ovim istraživanjem, već su primijenjena znanja iz dostupne literature.

Modifikacija drva postiže se djelovanjem kemijskih, bioloških ili fizikalnih činitelja na drvo, a rezultat tog djelovanja jest promjena kemijskog sastava s ciljem poboljšanja određenih osobina (Hill, 2006). Kombiniranjem vrste grijućeg medija, vremena trajanja procesa, završne temperatura te vrste drva koja će biti modificirana (glavnih parametara modifikacije), dobivaju se željena svojstva modificiranog drva. Promjenom kemizma stanične stijenke smanjuje se njezin afinitet prema vodi, što dovodi do poboljšavanja dimenzionalne stabilnosti. Smanjenjem veličina bubrenja i utezanja smanjuju se naprezanja u sustavu premaz - površina drva te se produljuje vijek trajanja drva, ali i proizvoda izrađenih od modificiranog drva (Hasan i Despot, 2008).

Prema istraživanjima Živkovića i dr. (2008), dobiveno je veliko smanjenje točke zasićenosti vlaknaca (prosječno za 15 %) i sobnoga ravnotežnog sadržaja vode (prosječno za 3,5 do 5 %) pregrijanog drva u odnosu prema prirodnome. Ti se podaci odnose na jasevinu i bukovicu obrađenu na dvije temperaturne razine, na 190 i 210 °C. Koeficijenti utezanja pregrijanog drva nisu smanjeni u usporedbi s nemodificiranim, ali je apsolutno smanjenje vodoupojnosti za 50 % rezultiralo povećanjem dimenzijske stabilnosti za 60 %. Toplinska obrada drva pridonosi manjoj vodoupojnosti, poboljšava dimenzijsku stabilnost, povećava otpornost drva prema biološkoj razgradnji. Takvom se drvu smanjuju mehanička svojstva, promjena boje (zbog modifikacije) na suncu nije stalna i modificirano drvo širi miris paljevine u prostor (Jirouš-Rajković i dr., 2007).

Mehanička svojstva termički modificiranog drva smanjuju se u smjeru vlaknaca drva i okomito na njih. Na temelju ispitivanja čvrstoće modificiranog drva na

udarac mogu se procijeniti njegova mehanička svojstva (Rapp i Sailer, 2001). Čvrstoća modificiranog drva na udarac linearno se smanjuje s porastom temperature modifikacije. Čvrstoća na udarac termički modificiranog drva manja je za 60 % u odnosu prema netretiranom drvu (Sinn i dr., 2002). Ako je modifikacija provedena u zraku, čvrstoća na udarac bit će znatno manja nego pri modifikaciji provedenoj u dušiku. Windeisen i dr. (2007) ispitivali su kemijske promjene na bukovini tijekom termičke modifikacije. Rezultati istraživanja pokazali su da toplinska obrada bukovine na različitim temperaturama uzrokuje promjenu tehnoloških obilježja drva. Postotak fenolnih OH grupa povećava se signifikantno s porastom temperature tretmana u usporedbi s neobrađenim drvom.

Jones i Pizzi (2007) istraživali su kako hladna i kipuća voda utječu na čvrstoću zavarenog spoja modificiranog drva sitkanske smreke. Rezultati istraživanja pokazali su veću izvlačnu silu spojeva toplinski i kemijski (na bazi alkohola) modificiranog drva za vrijeme izlaganja u kipućoj vodi (2 h). Nemodificirani uzorci imali su najveću izvlačnu silu u normalnim uvjetima, dok su kemijski modificirani uzorci (modificirani aceti-lacijskim sredstvom) imali najveću izvlačnu silu pri izlaganju u hladnoj vodi. Postupak zavarivanja modificiranog drva pokazao se primjenjivim i poboljšavao je čvrstoću spoja ako su zavareni spojevi bili izloženi utjecaju vlage i vode. Rezultati ispitivanja pokazuju da upotreba modificiranog drva pri zavarivanju može rezultirati spojem koji može izdržati veći utjecaj vlage. To otvara nove mogućnosti primjene postupka zavarivanja drva.

Utjecaj predgrijavanja drva i presjeka na linearno vibracijsko zavarivanje istraživali su Omrani i dr. (2009). Rezultati istraživanja pokazali su da predgrijavanje površine prije zavarivanja u bukovine pridonosi povećanju posmične čvrstoće s povećanjem predgrijavanja, dok je u hrastovine s povećanjem predgrijavanja zabilježen pad posmične čvrstoće te se povećava standardna devijacija izvlačne sile.

Župčić i dr. (2009) istraživali su zavarivanje moždanika u podlogu od toplinski tretirane i netretirane grabovine. Temperatura toplinske modifikacije iznosila je 200 °C u trajanju 48 h. Frekvencija vrtnje bukova moždanika iznosila je 1 520 okr./min. Istraživanje je pokazalo da moždanici zavareni u podlogu od grabovine koja nije bila toplinski modificirana imaju veću izvlačnu silu (prosječno 84 %, što je statistički značajna razlika) nego moždanici zavareni u toplinski modificiranu podlogu.

Provedeno je istraživanje (Župčić, 2010) u kojemu je moždanik (toplinski modificiran i nemodificiran) zavarivan u smjeru vlaknaca i okomito na njih u po-

**Tablica 1.** Uzorci korišteni u istraživanju

**Table 1** Research samples

Oznaka Code	Opis / Description
N	uzorci netretirani toplinski / Normal test samples
T14	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 140 °C / Test samples thermally modified at 140 °C
T16	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 160 °C / Test samples thermally modified at 160 °C
T18	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 180 °C / Test samples thermally modified at 180 °C
NV	uzorci netretirani toplinski, potapani u hladnu vodu / Normal test samples immersed in cold water
TV14	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 140 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 140 °C and immersed in cold water
TV16	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 160 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 160 °C and immersed in cold water
TV18	uzorci tretirani toplinski, na temperaturi 180 °C i potapani u hladnu vodu Test samples thermally modified at 180 °C and immersed in cold water

dlogu koja nije bila modificirana, te u podlogu koja je bila modificirana (toplinski i kemijski limunskom kiselinom). Zador pri zavarivanju iznosio je 1,6 mm, frekvencija vrtnje 1 520 okr./min, uz trajanje procesa zavarivanja 0,8 s. Usporedbom zavarivanja moždanika u modificiranu bukovinu toplim zrakom i u nemodificiranu bukovinu u smjeru vlakana te okomito na njih, uočena je statistički značajna razlika u veličini izvlačne sile. I pri lijepljenju nažlijebljenog moždanika u modificiranu bukovinu toplim zrakom i u nemodificiranu bukovinu pokazala se statistički značajna razlika. Modifikacija bukovine toplim zrakom i limunskom kiselinom utječe na smanjenje (statistički značajno) izvlačne sile zavarenoga ili lijepljenog spoja. Pri zavarivanju moždanika modificiranoga limunskom kiselinom i toplim zrakom u nemodificiranu podlogu izvlačna se sila odnosno čvrstoća spoja ne može izmjeriti jer je vlačna čvrstoća moždanika smanjena, te se moždanik lomi na vlak (prosječna sila pri kojoj nastaje lom modificiranog moždanika jest 2 586 N).

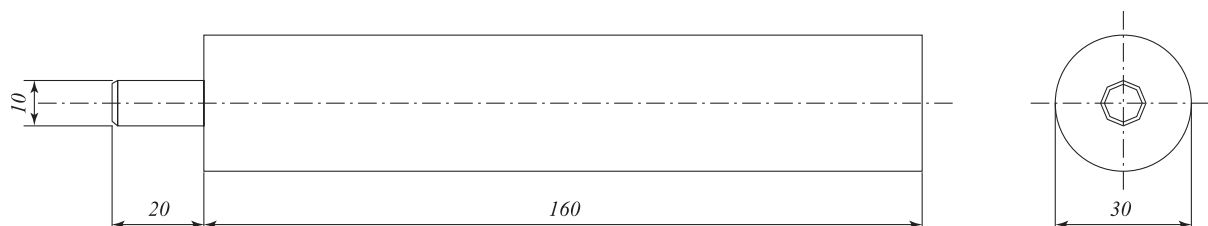
Toplinskom se modifikacijom smanjuju mehanička svojstva drva, ali se poboljšava njegova dimenzijska stabilnost te mu se smanjuje ravnotežni sadržaj vode. Ta pozitivna fizikalna svojstva nastojala su se iskoristiti za eventualno povećanje čvrstoće spoja u uzoraka izloženih utjecaju vode. Stoga je cilj rada bio istražiti utjecaj režima toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na čvrstoću odnosno izvlačnu silu zavarenog spoja kod dužinski spojenih tokarenih elemenata. Istraživanje utjecaja hladne vode na čvrstoću spoja provedeno je prema normi za ljepilo (HRN EN 204). Osim spomenutih čimbenika, istraživani su i utjecaj

početne gustoće drva i gubitka mase zbog toplinske modifikacije na čvrstoću spoja.

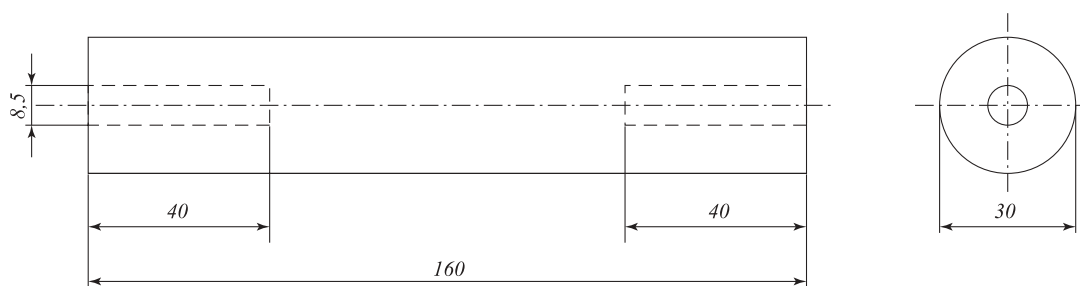
## 2. MATERIJALI I METODE 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Izrada uzoraka zavarivanjem 2.1 Welding of samples

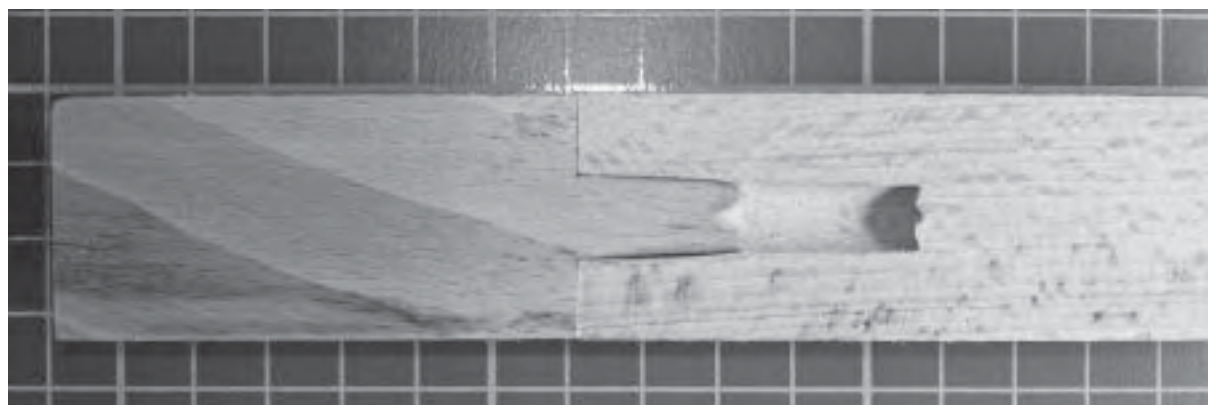
Istraživanja utjecaja toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na čvrstoću dužinski spojenih tokarenih elemenata provedena su na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od ukupno 200 zavarenih uzoraka (modificiranih i nemodificiranih), 193 su uključena u istraživanja, a sedam je uzoraka za vrijeme zavarivanja raspucalo, pa nisu korišteni u daljnjim razmatranjima. Za dužinsko sastavljanje tokarenih elemenata upotrijebljeni su uzorci bukovine promjera 30 mm. Duljina uzoraka iznosila je 160 mm, uvećana za duljinu glatkoga tokarenog čepa koja je iznosila 20 mm. Promjer rupe bio je 8,50 mm, a prosječni promjer čepa 9,92 mm (prosječni zador iznosio je 1,42 mm). Zavarivanje čepa u rupu vršeno je u kontroliranim uvjetima, uz pomoć posebno prilagođenog uređaja i pristroja. Broj okretaja pri zavarivanju uzoraka bio je konstantan i iznosio je 1 520 okr./min, a prosječno trajanje zavarivanja iznosilo je 0,96 s, što odgovara pomaku čepa od 0,82 mm po okretaju. Nakon prestanka rotacije zadržan je pritisak na spojene elemente u trajanju od dvije do četiri sekunde. Skice toplinski modificiranih i nemodificiranih uzoraka korištenih u ovom istraživanju prikazane su na slikama 1. i 2, a presjek dužinski spojenih (zavarenih) tokarenih elemenata prikazan je na slici 3.



**Slika 1.** Tokareni ispitni uzorak s čepom duljine 20 mm  
**Figure 1** Turned test sample with dowel length of 20 mm



**Slika 2.** Tokareni ispitni uzorak s rupom promjera 8,5 mm  
**Figure 2** Turned test sample with a hole of 8.5 mm in diameter



**Slika 3.** Uzdužni presjek tokarenog elementa dužinski spojenoga uz pomoć čepa duljine 20 mm  
**Figure 3** Cross section of linearly turned beech element with a 20 mm dowel

## 2.2. Određivanje sadržaja vode i gustoće

### 2.2 Determination of moisture content and density

Sadržaj vode određivao se prema HRN ISO 3130:1999 (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva). Prosječan sadržaj vode nakon sušenja uzoraka ( $103 \pm 2$  °C) iznosio je 9,40 % (min. 8,81 %, maks. 10,08 %).

Nakon što je određen sadržaj vode u drvu, na istim je probama određivana gustoća drva prema HRN ISO 3131:1999 (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva). Prosječna gustoća bukovine iznosila je  $0,71 \text{ g/cm}^3$  (min.  $0,67 \text{ g/cm}^3$ , maks.  $0,77 \text{ g/cm}^3$ ).

## 2.3. Postupak toplinske modifikacije bukovine

### 2.3 Process of thermal modification of beech

Postupak toplinske modifikacije bukovine proveden je prije zavarivanja uzoraka. Uzorci su toplinski modificirani na temperaturama 140, 160 i 180 °C. Postupak toplinske modifikacije uzoraka sastojao se od sušenja uzoraka na temperaturi  $103 \pm 2$  °C do 0 % sadržaja vode. Nakon određivanja mase vaganjem uzorci su zagrijani na temperaturu od 140, 160 i 180 °C (ovisno o vrsti ispitivanja) u trajanju od 9 h. Trajanje zagrijavanja sušionika od  $103 \pm 2$  °C do željene temperature iznosilo je oko 30 min, isto koliko i postupno smanjivanje temperature na  $103 \pm 2$  °C. Nakon toplinske modifikacije uzorcima je određena masa vaganjem kako bi se mogao odrediti gubitak mase nakon modifikacije. Prije zavarivanja uzorci su kondicionirani u laboratorijskim uvjetima (temperatura  $23 \pm 2$  °C, relativna vlaga zraka  $50 \pm 5$  %) u trajanju tri tjedna.

Prosječni sadržaj vode (nakon kondicioniranja) uzoraka tretiranih na 140 °C iznosio je 5,73 %, tretiranih na 160 °C iznosio je 4,43 % a tretiranih na 180 °C iznosio je 1,56 %.

## 2.4. Postupak potapanja uzoraka u hladnu vodu

### 2.4 Procedure of immersing samples in cold water

Nakon toplinske modifikacije, kondicioniranja u laboratorijskim uvjetima (temperatura  $23 \pm 2$  °C, relativna vlaga zraka  $50 \pm 5$  %) i zavarivanja, polovica uzoraka potapana je u hladnu vodu. Ispitivanje se provodilo prema normi za ljepila HRN EN 204. Uzorci su bili potapani u vodi pri  $20 \pm 5$  °C, u vremenu od 3 h. Nakon potapanja višak vode uklonjen je suhom krpom i uzorci su ostavljeni dva dana na kondicioniranju u laboratorijskim uvjetima (temperatura  $23 \pm 2$  °C, relativna vlaga zraka  $50 \pm 5$  %). Nakon kondicioniranja uzorcima je određena masa vaganjem i potom su stavljeni na sušenje. Postupak se sastojao od postupnog zagrijavanja uzoraka na temperaturu  $103 \pm 2$  °C do 0 % sadržaja vode. Nakon sušenja uzorci su tri tjedna kondicionirani u laboratorijskim uvjetima, te im je prosječni sadržaj vode za modifikaciju na 140 °C iznosio 4,15 %, za 160 °C sadržaj vode je bio 3,81 %, a uzorci modificirani na 180 °C imali su prosječni sadržaj vode od 2,38 %.

## 2.5. Metoda ispitivanja

### 2.5 Test method

Ispitivanje rotacijski zavarenih spojeva (moždanka) na toplinski modificiranim i u hladnu vodu potapanih bukovih uzoraka provedeno je na univerzalnoj kidalici u Zavodu za znanost o drvu na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Pomak za vrijeme ispitivanja

vanja iznosio je 5 mm/min. Uz pomoć računala obavljena su mjerenja sile i pomaka, pa su sve vrijednosti točno i precizno izmjerene.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Utjecaj toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na izvlačnu silu

##### 3.1 Influence of thermal modification of beech and cold water on embedded force

Rezultati istraživanja (tabl. 2 i sl. 4) pokazali su da toplinska modifikacija bukovine, a pogotovo hladna voda, imaju negativan utjecaj na izvlačnu silu odnosno na čvrstoću spoja. Najbolje rezultate izvlačne sile postigli su nemodificirani uzorci, što je bilo i očekivano. Što je temperatura modifikacije, veća to je čvrstoća spoja odnosno izvlačna sila manja. Drvu se modifikacijom povećava krtoš, pa dolazi do loma vlaknaca, a ne do isprepletanja u talini, što je rezultiralo smanjenjem izvlačne sile zavarenog čepa. Smanjenje mehaničkih svojstava u smjeru vlaknaca i okomito na njih, slabljenje otpornosti na cijepanje te znatan porast krtošći posljedica su termičke modifikacije (Feist i dr., 1987; Rapp i Sailer, 2001). Pri zagrijavanju drva bez kisika najprije se razgrađuju drvene polioze (hemiceluloze), zatim celuloza, te na kraju lignin (Tjeerdsma i dr., 1998). Upravo je ta razgradnja celuloze jedan od čimbenika koji utječu na čvrstoću zavarenog spoja.

Potapanjem nemodificiranih i modificiranih uzoraka u hladnu vodu rezultiralo je značajnijim smanjenjem izvlačne sile. Toplinski netretirani uzorci koji su potapani u hladnu vodu (NV) imaju u prosjeku 47 % manju izvlačnu silu od uzoraka netretiranih toplinski i nepotapanih u hladnu vodu (N). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 140 °C potapani u hladnu vodu (TV14) imaju u prosjeku 41 % manju izvlačnu silu od nepotapanih uzoraka (T14). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 160 °C potapani u hladnu vodu (uzorci TV16) imaju u prosjeku 50 % manju izvlačnu silu od uzoraka tretiranih na temperaturi 160 °C koji nisu bili

potapani u hladnu vodu (T16). Uzorci tretirani toplinski na temperaturi 180 °C potapani u hladnu vodu (TV18) imaju u prosjeku 42 % manju izvlačnu silu od uzoraka koji nisu potapani (T18). Dobiveni rezultati imaju sličan trend kao i rezultati do kojih su u svojim istraživanjima došli Jones i Pizzi (2007). Iz njihova istraživanja također je vidljiv negativan utjecaj hladne vode na izvlačnu silu.

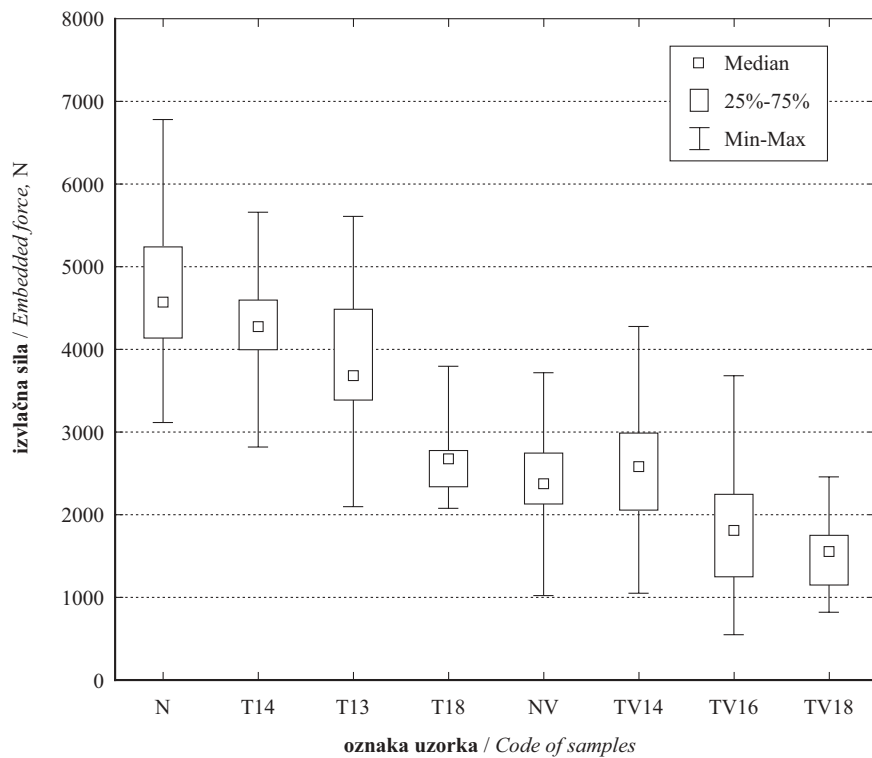
Prema rezultatima istraživanja, za gotovo sve spojeve koji su izloženi utjecaju hladne vode zamijećen je pad izvlačne sile, samo je pri toplinskoj modifikaciji na 140 °C zabilježen porast izvlačne sile u usporedbi s nemodificiranim drvom. Stoga se može zaključiti da nije opravdana upotreba toplinske modifikacije jer daje vrlo malo poboljšane rezultate od zavarivanja drva koje nije bilo toplinski modificirano. Osim toga, sam proces podrazumijeva određenu potrošnju energije i vremena, a dobiveni rezultati nisu značajno bolji. S obzirom na to da se toplinskom modifikacijom povećava dimenzijska stabilnost drva, pretpostavljeno je da će zavareni spoj od modificiranog drva biti otporniji na utjecaj vode. Rezultati istraživanja nisu potvrdili tu pretpostavku.

U ovom je istraživanju odabran zador od 1,42 mm, koji nipošto nije optimalan jer je prema Pizziju i dr. (2003) zador od 2 mm optimalan, a ako je veći ili manji, izvlačna se sila smanjuje (primijenjena frekvencija vrtnje iznosila je 1 200 okr./min). U istraživanju je korišten manji zador od optimalnoga da bi se spriječilo raspucavanje modificiranog drva. Modifikacijom se povećava krtoš drva, što dovodi do pojave pukotina u zavarenom spoju i time se smanjuje čvrstoća spoja. Svaki spoj na kojem se pojavi pukotina ne može se rabiti u daljnjim istraživanjima. Prema provedenim istraživanjima (Župčić i dr., 2010), vidljivo je da izvlačna sila postiže maksimalne iznose pri zadoru od 2 do 2,5 mm, pa su to ujedno i optimalni zadori za rotacijsko zavarivanje nažlijebljenih moždanika (frekvencija vrtnje 1 520 okr./min). Kada se zadori povećavaju ili smanjuju u odnosu prema optimalnima, dolazi do smanjenja izvlačne sile odnosno čvrstoće spoja (odnosi se na toplinski neobrađeno drvo).

**Tablica 2.** Deskriptivna statistika izvlačne sile u ovisnosti o toplinskoj modifikaciji bukovine i o hladnoj vodi

**Table 2** Descriptive statistics of results of embedded force in dependence on thermal modification of beech and cold water

Oznaka uzorka <i>Code</i>	Aritmetička sredina izvlačne sile <i>Embedded force Means</i>	Broj uzoraka <i>Number of samples</i>	Standardna devijacija izvlačne sile <i>Embedded force Std. Dev.</i>	Minim. izvlačna sila <i>Embedded force Minimum</i>	Maks. izvlačna sila <i>Embedded force Maximum</i>	Izvlačna sila Q25 <i>Embedded force Q25</i>	Izvlačna sila medijan <i>Embedded force Median</i>	Izvlačna sila Q75 <i>Embedded force Q75</i>
	N		N	N	N	N	N	N
N	4 616,0	25	839,5	3 120,0	6 780,0	4 140,0	4 560,0	5 240,0
T14	4 318,0	25	798,7	2 820,0	5 660,0	4 000,0	4 260,0	4 600,0
T16	3 699,6	25	1 020,2	1 100,0	5 610,0	3 350,0	3 680,0	4 470,0
T18	2 669,2	25	431,6	2 080,0	3 800,0	2 340,0	2 670,0	2 780,0
NV	2 446,5	23	655,0	1 020,0	3 720,0	2 130,0	2 370,0	2 750,0
TV14	2 535,4	24	745,2	1 050,0	4 280,0	2 060,0	2 575,0	2 990,0
TV16	1 838,2	22	862,1	550,0	3 680,0	1 250,0	1 790,0	2 250,0
TV18	1 541,8	22	427,7	820,0	2 460,0	1 150,0	1 535,0	1 750,0
Sve grupe	3 005,5	191	1 289,1	550,0	6 780,0	2 130,0	2 810,0	3 980,0

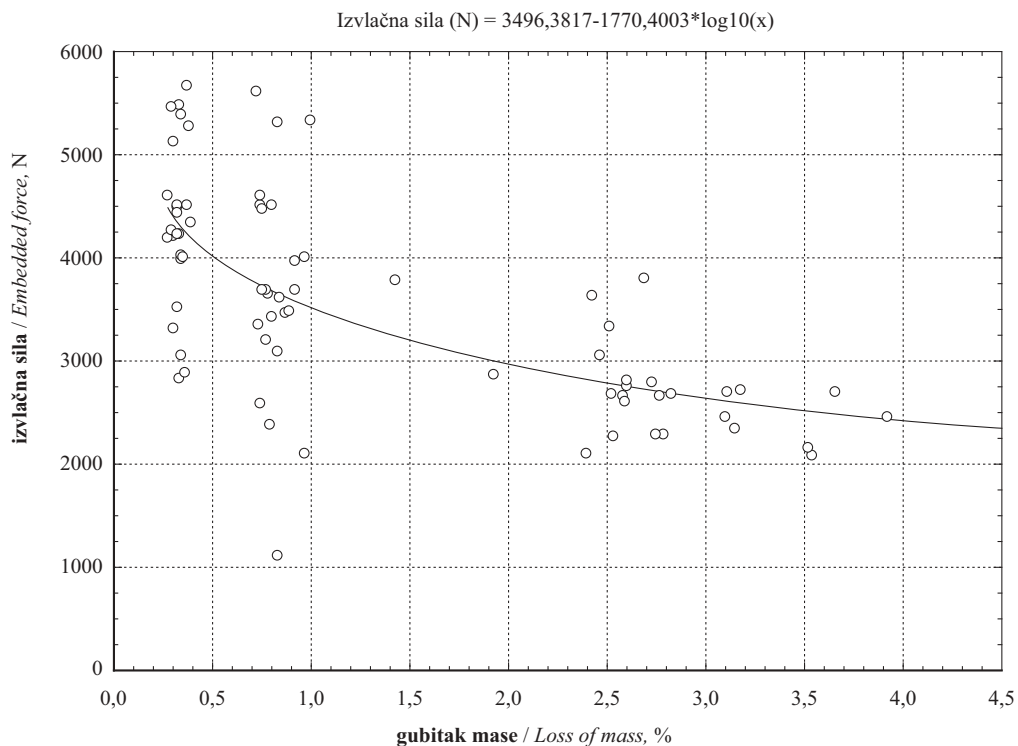


**Slika 4.** Utjecaj toplinske modifikacije bukovine i hladne vode na izvlačnu silu  
**Figure 4** Influence of thermal modification of beech and cold water on embedded force

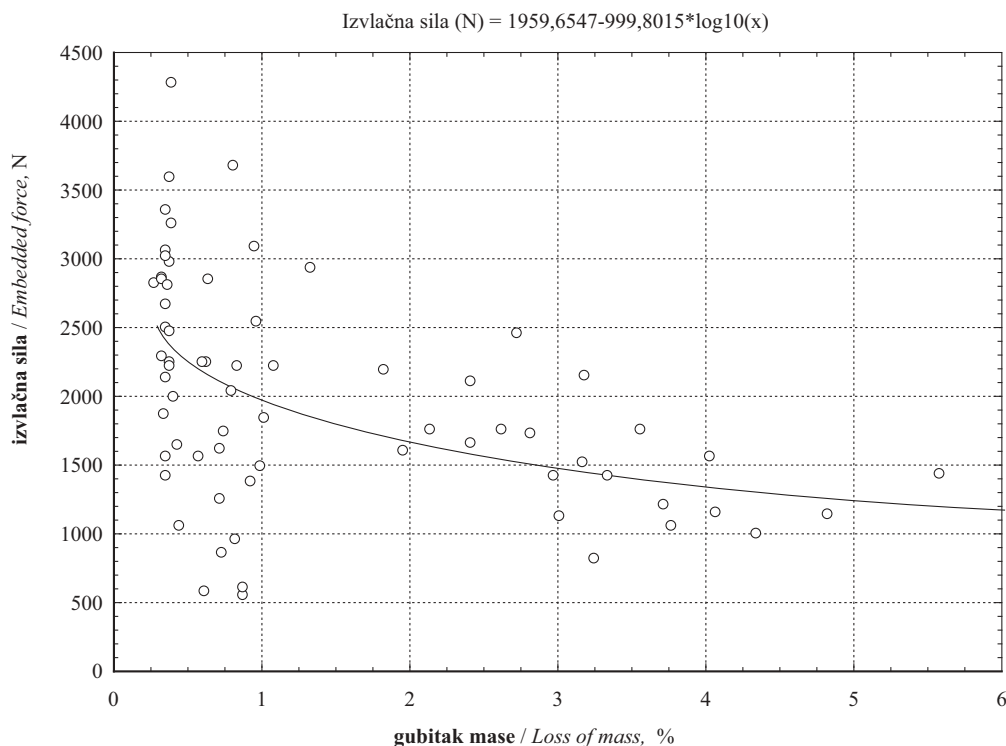
**3.2. Usporedba gubitka mase i izvlačne sile uzoraka tretiranih i netretiranih u hladnoj vodi**  
 3.2 Comparison of mass loss and embedded force of treated and untreated samples in cold water

Rezultati istraživanja pokazali su da najmanji gubitak mase imaju uzorci koji su bili tretirani na temperaturi 140 °C. Što je temperatura modifikacije bila veća, to je i gubitak mase veći, pa su najveći gubitak

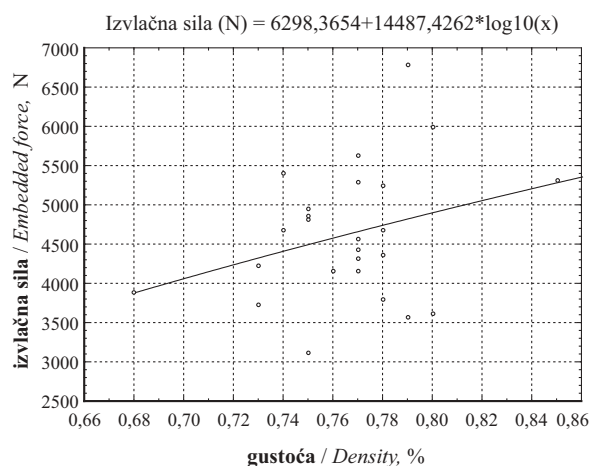
mase imali uzorci tretirani na temperaturi 180 °C. Prosječni gubitak mase uzoraka tretiranih na 140 °C iznosio je 0,34 % (min. 0,27, maks. 0,43 %). Za uzorke tretirane na 160 °C gubitak mase iznosio je 0,85 % (min. 0,57, maks. 1,43 %), dok je gubitak mase uzoraka tretiranih na 180 °C iznosio 3,09 % (min. 1,80, maks. 5,53 %). Na slici 5. prikazan je utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu. Vidljivo je da se porastom gubi-



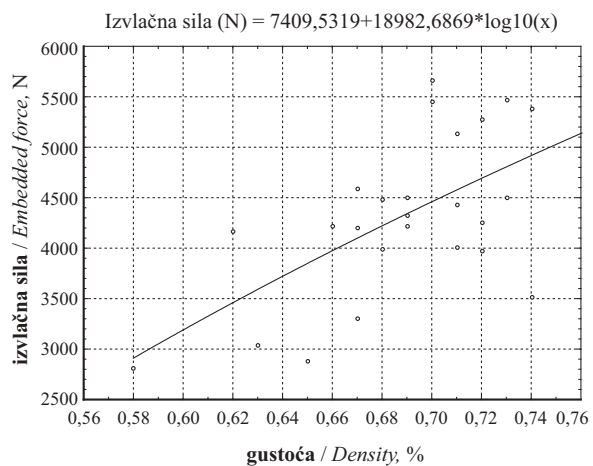
**Slika 5.** Utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu u toplinski tretiranih uzoraka  
**Figure 5** Influence of mass loss on embedded force of thermally treated samples



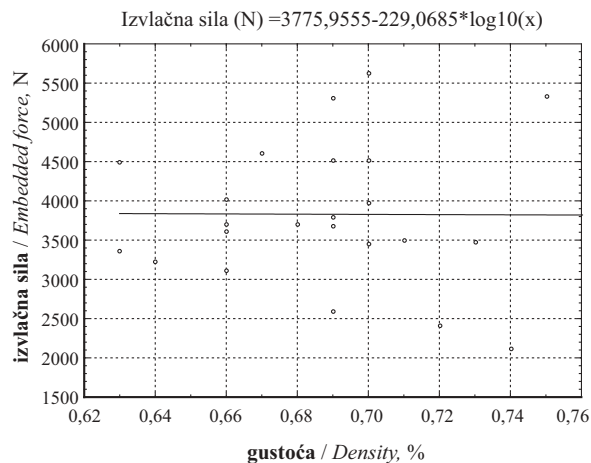
**Slika 6.** Utjecaj gubitka mase na izvlačnu silu u toplinski tretiranih uzoraka potapanih u hladnu vodu  
**Figure 6** Influence of mass loss on embedded force of thermally treated samples immersed in cold water



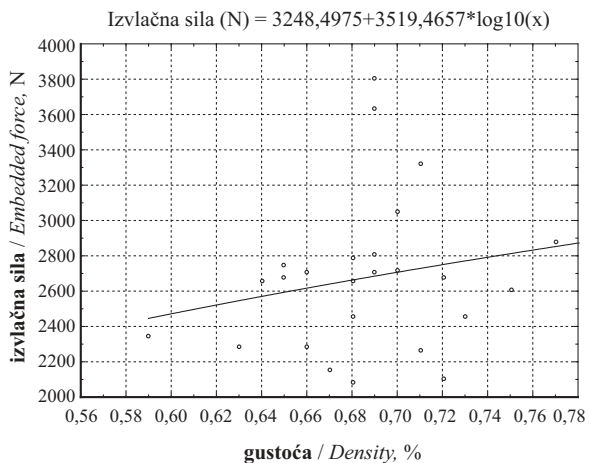
a) N



b) T14



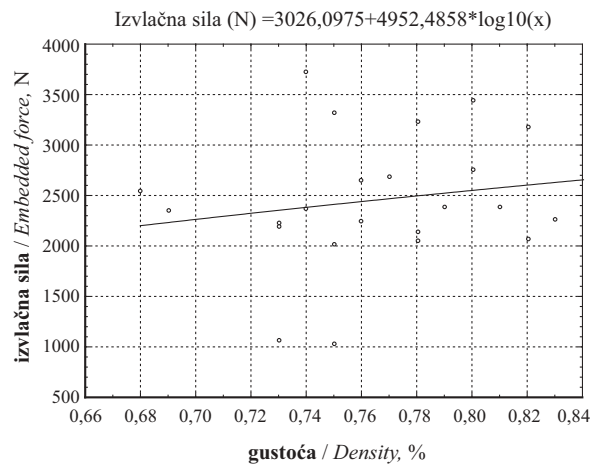
c) T16



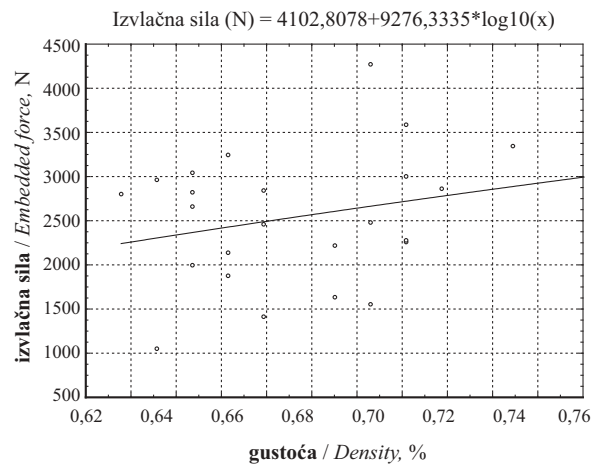
d) T18

**Slika 7. a), b), c), d)** Utjecaj gustoće na izvlačnu silu u uzoraka netretiranih hladnom vodom  
**Figure 7 a, b, c, d** Influence of density on embedded force of untreated samples in cold water

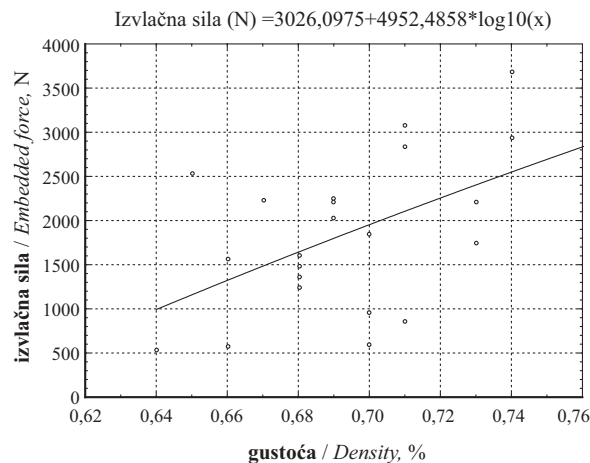




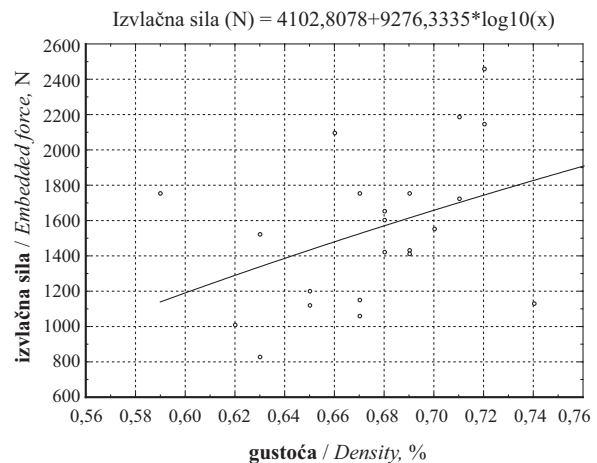
a) N



b) T14



c) T16



d) T18

Slika 8. a), b), c), d) Utjecaj gustoće na izvlačnu silu u uzoraka tretiranih hladnom vodom  
Figure 8 a, b, c, d. Influence of density on embedded force of treated samples in cold water

tka mase (s povećanjem temperature modifikacije) smanjuje izvlačna sila zavarenih uzoraka. Povećanje temperature modifikacije dovodi do povećanja grešaka zavarivanja (pojavljuju se pukotine u elementima), što je negativno svojstvo modifikacije.

### 3.3. Usporedba gustoće i izvlačne sile uzoraka netretiranih i tretiranih u hladnoj vodi

#### 3.3 Comparison of density and embedded force of untreated and treated samples in cold water

Razlike u anatomskoj i fizikalnoj građi drva svakako utječu na proces zavarivanja drva, pa se može pretpostaviti kako kemijska, anatomska i fizikalna svojstva unutar iste vrste drva imaju utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja. Unutar iste širine goda postoje varijacije u udjelu ranoga i kasnog drva. Uz istu širinu goda veći udio kasnog drva (u bukovine) preduvjet je povećanja gustoće drva, što može utjecati na povećanje čvrstoće zavarenog spoja. Prema provedenim istraživanjima (Župčić, 2010), s porastom gustoće drva unutar ovog istraživanja porasla je izvlačna sila. Iz rezultata provedenog ispitivanja (sl. 7. i 8) vidljivo je da s povećanjem gustoće raste izvlačna sila toplinski tretiranih i netretiranih zavarenih uzoraka. Trend rasta izvlačne sile s porastom gustoće drva zabilježen je u uzoraka potapanih u hladnu vodu, ali i u uzoraka koji nisu tretirani hladnom vodom (sobne temperature).

## 4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

Tokareni se elementi mogu uspješno dužinski spajati uz pomoć čepa tehnikom rotacijskog zavarivanja. Tako spojeni tokareni elementi mogli bi u budućnosti pronaći svoju primjenu u proizvodnji namještaja.

Toplinska modifikacija bukovine utječe na smanjenje izvlačne sile, odnosno čvrstoće zavarenog spoja. Najbolje rezultate izvlačne sile pokazuju uzorci koji nisu tretirani toplinski i nisu potapani u hladnu vodu (uzorci N). Eksperiment je pokazao da se s povećanjem temperature toplinske modifikacije vrijednosti izvlačne sile stalno smanjuju. Najlošije rezultate izvlačne sile imaju uzorci tretirani na temperaturi 180 °C (uzorci T18).

Hladna voda ima negativan utjecaj na toplinski modificirano, ali i na nemodificirano drvo (izvlačna sila u uzoraka potapanih u vodu prosječno se smanjuje od 40 do 50 %). U uzoraka potapanih u vodu najveću izvlačnu silu postigli su uzorci toplinski tretirani na 140 °C, dok su nemodificirani uzorci imali statistički neznačajno manju izvlačnu silu. Za uzorke potapane u hladnu vodu bilo je očekivano da će pri svim primijenjenim temperaturama modifikacije izvlačna sila

biti veća od one u nemodificiranom drvu s obzirom na to da se modifikacijom povećava dimenzijska stabilnost drva, te mu se smanjuje afinitet prema vodi.

Istraživanje utjecaja gubitka mase na izvlačnu silu pokazalo je da se s porastom gubitka mase smanjuje izvlačna sila zavarenog spoja. S povećanjem temperature toplinske modifikacije raste gubitak mase uzoraka.

Eksperiment je pokazao da s porastom gustoće uzoraka raste izvlačna sila, odnosno čvrstoća zavarenog spoja.

## 5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Feist, W. C.; Sell, J., 1987: Weathering Behaviour of Dimensionally Stabilized Wood Treated by Heating under Pressure of Nitrogen Gas, *Wood and Fiber Science*, 19 (2):183-195.
2. Hasan, M.; Despot R., 2003: Termički modificirano drvo – materijal današnjice. *Les – wood*, 55 (3): 342-345.
3. Jirouš-Rajković, V.; Turkulin, H.; Živković, V., 2007: Metode poboljšanja svojstava građevnog drva. *Drvna industrija*, 58 (1): 23-33.
4. Jones, D.; Pizzi, A., 2007: Frictional welding of dowels into modified wood. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> COST E34, Bonding of modified wood, September 6<sup>th</sup> 2007.*, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Bled-Slovenija, 13-19.
5. Leban, J.-M.; Mansouri, H. R.; Omrani, P.; Pizzi, A., 2008: Dependence of dowel welding on rotation rate. *Holz Roh Werkst.*, (66): 241-242.
6. Omrani, P.; Mansouri, H. R.; Pizzi, A.; Masson, E., 2009: Influence of grain direction and pre-heating on linear wood welding. *Eur. J. Wood Prod.*, 68 (1): 113-114. doi:10.1007/s00107-009-0349-6
7. Pizzi, A.; Properzi, M.; Leban, J.M.; Zanetti, M.; Pichelin, F., 2003: Mechanically – induced wood welding. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, 5 (2): 101 - 106.
8. Rapp, A. O.; Sailer, M., 2001: Oil-heat-treatment of wood – process and properties. *Drvna industrija*, 52 (2): 63-70.
9. Sinn, G.; Gindl, M.; Reiterer, A., 2002: Ausgewählte materialphysikalische Eigenschaften von modifiziertem Holz. *Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte*, 171-189.
10. Tjeerdsma, B.; Boonstra, M.; Pizzi, A.; Tekely, P.; Militz, H., 1998: Two-steps heat-treated timber: molecular-level reasons for wood performance improvement. *Holz Roh-Werkstoff*, 56 (3): 149-153. doi:10.1007/s001070050287
11. Windeisen, E.; Strobel, C.; Wegener, G., 2007: Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Sci Technol*, 41: 523-536. doi:10.1007/s00226-007-0146-5
12. Živković, V.; Prša, I.; Turkulin, H.; Sinković, T., Jirouš-Rajković, V., 2008: Dimensional stability of heat treated wood. *Drvna industrija*, 59 (2): 69-73.
13. Župčić, I.; Mihulja, G.; Govorčin, S.; Bogner, A.; Grbac, I.; Hrovat, B., 2009: Zavarivanje termički modificirane grabovine. *Drvna industrija*, 60 (3): 161-166.
14. Župčić, I., 2010: Čimbenici koji utječu na spajanje bukovih tokarenih elemenata tehnikom zavarivanja. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, disertacija, 1-237.
15. Župčić, I.; Bogner, A.; Grbac, I.; Lozančić, I., 2010: New insights into rotation welding of beech wood. *Proceedings of International conference: Wood is good – transfer of knowledge in practice as a way out of the crisis: University of Zagreb, Faculty of Forestry, INNOVAWOOD, Zagreb, October 15<sup>th</sup> 2010*, 147-152.
16. \*\*\* HRN EN 204:2001 (klasifikacija termoplastičnih adheziva za drvo za nekonstrukcijske primjene).
17. \*\*\* HRN ISO 3130:1999 (hrvatska norma za određivanje sadržaja vode za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).
18. \*\*\* HRN ISO 3131:1999 (hrvatska norma za određivanje gustoće drva za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva).

### Corresponding address:

Assistant IVICA ŽUPČIĆ, Ph.D.

University of Zagreb  
Faculty of Forestry  
Svetošimunska 25, p.p. 422  
HR-10002 Zagreb, Croatia  
e-mail: izupcic@sumfak.hr

# CONFERENCE ANNOUNCEMENT

The International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) All Division 5 (Forest Products) Conference will be held in Estoril, Portugal from 3 – 13 July, 2012.

The IUFRO All-Division 5 Forest Products conference is held every five years. The meeting will be hosted by the Technical University of Lisbon and co-sponsored by the IAWS, IAWA, and IRG.

This conference is designed to bring together researchers in forest products and related fields from around the world. Discussion will embrace progress in research to meet rapidly increasing demands for all kinds of forest products, while maintaining the forest as a source of such products and a resource for broader social, economic and environmental benefits.

Major topics will include:

- Wood Quality
- Physio-mechanical Properties of Wood
- Wood-based Materials and their Applications
- Wood Processing
- Wood Protection
- Composites and Reconstituted Products
- Pulp and Paper
- Properties and Utilization of Plantation Woods
- Energy and Chemicals from Forest Biomass
- Forest Products Marketing
- Non-wood Forest Products
- Forest Products Education
- Wood Culture

The first announcement has been released at:

[http://www.iufro2012.org/show\\_newsletter.php?ID=29&bk=1&DumpCache=4d109750b5452](http://www.iufro2012.org/show_newsletter.php?ID=29&bk=1&DumpCache=4d109750b5452)

For more information please go to the conference website:

**[www.iufro2012.org](http://www.iufro2012.org)**

# The Influence of Curing Temperature on Rheological Properties of Epoxy Adhesives

## Utjecaj temperature otvrdnjavanja na reološka svojstva epoksidnih ljepila

### Original scientific paper • Izvorni znanstveni rad

Received – prispjelo: 16. 12. 2010.

Accepted – prihvaćeno: 25. 2. 2011.

UDK: 630\*824.321; 630\*824.421.2

doi:10.5552/drind.2011.1042

**ABSTRACT** • The curing process of three different epoxy adhesives, which are appropriate for bonding wood with metal, was characterized on the basis of their rheology. The rheological measurements were carried out using a TA Instruments ARES G2 stress control rheometer. The influence of temperature on the curing process was examined at five different temperatures: 30, 40, 50, 60 and 80 °C. Curing was monitored by an oscillatory test by using geometry with disposable parallel plates. Gel time and vitrification time were determined. Significant differences in curing behaviour were observed among the studied adhesives. The results showed that increasing the curing temperature significantly accelerated the curing process of the epoxy adhesives. It was also observed that the storage modulus  $G'$  and the loss modulus  $G''$  decreased with an increasing temperature of curing.

**Key words:** epoxy adhesives, gel point, loss modulus, rheology, storage modulus

**SAŽETAK** • Proces otvrdnjavanja triju različitih epoksidnih ljepila koja se upotrebljavaju za povezivanje drva i metala procijenjen je na bazi njihovih reoloških svojstava. Reološka su mjerenja provedena upotrebom reometra ARES G2. Utjecaj temperature na proces otvrdnjavanja istražen je pri pet različitih temperatura: 30, 40, 50, 60 i 80 °C. Otvrdnjavanje je praćeno oscilacijskim testom primjenom geometrije sa slobodnim paralelnim pločama. Određeno je vrijeme geliranja i staklenosti. Utvrđeno je signifikantno različito ponašanje promatranih ljepila tijekom otvrdnjavanja. Rezultati su pokazali da se s povećanjem temperature otvrdnjavanja znatno ubrzava proces otvrdnjavanja epoksidnih ljepila. Zapaženo je da se modul pohrane  $G'$  i modul gubitka  $G''$  smanjuju s povećanjem temperature otvrdnjavanja.

**Ključne riječi:** epoksidna ljepila, točka geliranja, modul gubitka, reologija, modul pohrane

### 1 INTRODUCTION

#### 1. UVOD

Epoxy resins are often used as high performance thermosetting adhesives for bonding metals together or for binding metals to other materials. These adhesives are frequently used for bonding steel and wood, as for example in the case of structural connections in timber

(Broughton and Hutchinson, 2001; Custodio *et al*, 2009; Chans *et al*, 2010; Widman *et al*, 2007; Serrano, 2001; Cimadevila *et al*, 2007). Over the last 30 years, there has been a growing interest in the possibilities for jointing glulam beams with steel bars (rods), which are placed in pre-drilled holes in the timber members and bonded with epoxy resin. Such joints made with glued-in rods have great potential in the field of timber engi-

<sup>1</sup> Authors are graduate student and associate professor at Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia.

<sup>1</sup> Autori su student diplomskog studija i profesor na Biotehničkom fakultetu Sveučilišta u Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.

neering. Some of their advantages are the aesthetic benefits, with the hidden design of these rigid joints, and their high load-carrying capacity for the transmission of loads from and to the wooden pieces (Chans *et al*, 2009). Glued-in rods are very efficient joints, which can withstand the high axial loads that are applied to timber structural members. If such joints are correctly designed it is theoretically possible to achieve higher stiffness and a more uniform stress distribution in the wood, while avoiding peak values near the bolts and achieving a better aesthetic appearance in comparison with traditional mechanical connections (Gattesco and Gubana, 2001).

An important condition for the use of glued-in rods is that an efficient bond be created between the steel rods and timber. Gluing and screwing are two ways in which this can be done. Rod diameters larger than 10 mm make it impossible to achieve an efficient working screw system (Bernasconi, 2001). The load transfer between the screw and timber is mainly governed by compression due to indentation. Compared to screws, glued-in rods introduce shear forces into the timber in a different way. Whereas anchored screws rely on direct contact between the timber and the flanks of the thread, and therefore on compression by means of complex geometry, glued-in rods transfer the force only at the interface between the rod and the adhesive. The load transfer between the adhesive and timber is mainly governed by shear and not by compression due to indentation (Steiger *et al*, 2006). Due to this fact, gluing is the only way in which the bond can be created. Several parameters have an influence on the short-term pull-out strength of glued-in rod joints. One of the very important mechanical parameters is the type and rheological behaviour of the adhesive (Rossignon and Espion, 2008). The purpose of the adhesive is to provide a continuous bond between the timber and steel rod, to fill voids and cavities, and to transfer and sustain the loads. Thus thermosetting gap-filling materials are required, which exhibit good adhesion to the various materials whilst also being tolerant to variations in the timber moisture content. Epoxy compounds have several advantages over other resins as adhesive agents for use in timber structures and, typically, they are suitable for service temperatures in the range -30 to +60°C. They may be formulated in a wide range of forms, application characteristics and mechanical properties when cured (Broughton and Hutchinson, 2001).

Before investigating the ability of different adhesives to promote adhesion in different types of joints, a detailed description of the rheological properties of each individual adhesive is needed (Lapique and Redford, 2002). Rheological information can be related directly to the mechanical properties of the adhesive (Zheng, 2002). Rheometry can be used not only to obtain information about gelation, but also to monitor the whole curing process of a thermoset (Núñez *et al*, 2005; Winter, 2008). The purpose of this study was to investigate the curing process and explore the rheology of three different epoxy adhesives, cured at several different temperatures.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2. MATERIJALI I METODE

#### 2.1 Materials and sample preparation

##### 2.1. Materijali i priprema uzoraka

Three different epoxy adhesives were used. Adhesive ERGO 7211 2K EPOXY 50ml (7211) was a two-component epoxy resin with component A (colourless) and B (yellow). Its viscosity at 23 °C was 30000-45000 mPa·s, whereas its acceptable thermal range was from -40 °C to +100 °C, and its pot life at 23 °C was 100 min. This resin contained N'-(3-aminopropyl)-N,N-dimethylpropane-1,3-diamine. The reaction product was bisphenol-A-(epichlorhydrin) epoxy resin (with a number-average molecular weight of 700) and bisphenol-F-(epichlorhydrin). Both components were mixed in advance. The recommended mixture ratio was 1:1.

The second adhesive was EPOX 210 A+B (EPOX 210), which was a two-component-epoxy resin with component A (colourless) and B (yellow). The viscosity of component A at 25 °C was 500-900 mPa·s, whereas that of component B was 250 mPa·s. The viscosity of the mixture after 5 min was 600 mPa·s. Pot life at 20 °C was 30 min for 100 g and 11 min for 200 g. Component A contains 3-aminomethyl-3,5,5-trimethyl-cyclohexylamine, Benzyl alcohol, m-ksililendi-amin, and Nonylphenol. Component B contains an epoxy resin, C 12-C14-Alkylglycidether. Both components were mixed in advance. The recommended mixture ratio was A:B = 2:1.

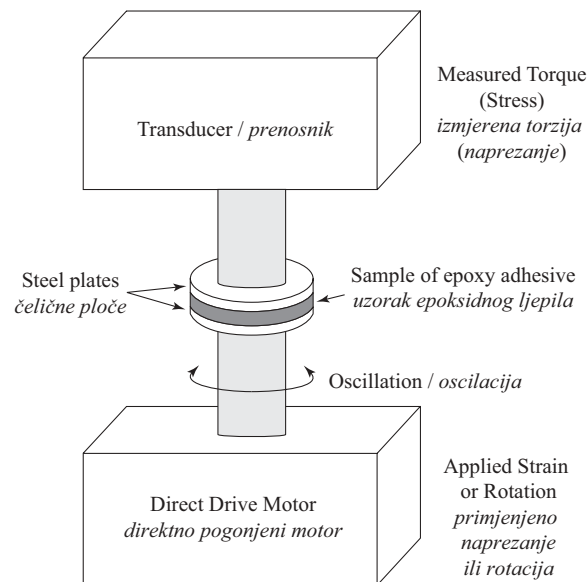
The third adhesive was NEOSTIK EP 101 (EP 101), which was a two-component modified epoxy resin with component A (colourless) and B (yellow-brown). Viscosity at 20 °C for component A was 600 mPa·s. Component A contains 4,4'-(1-methylethylidene)bisphenol polymer with 2-(chloromethyl)oxirane with an average molecular weight  $\leq 700$  g/mol and 2-[(2-methylphenoxy)methyl]oxirane. Component B contains N,N'-bis(2-aminoethyl)-1,2-ethanediamine. The recommended mixture ratio was 1:1.

#### 2.2 Rheological measurements

##### 2.2. Reološka mjerenja

The rheological measurements were carried out using a TA Instruments ARES G2 stress control rheometer. A diagram of the equipment for rheological measurements is shown in Figure 1. The geometry was plate-plate, with disposable plates with a diameter of 25 mm made from steel with a nominal ultimate tensile strength of:  $f_u = 900 - 1000$  N/mm<sup>2</sup>. All experiments were performed at a frequency of 1 Hz, a strain of 0.01, and a 0.5 mm gap between the plates. Sinusoidal stress was used in all experiments, which is the basis for calculating the storage modulus ( $G'$ ) and the loss modulus ( $G''$ ).

All of the adhesives were used as received and carefully mixed at the stoichiometric ratio prescribed by the manufacturer. After preparing the adhesive sample, it was immediately placed in the plate-plate geometry assembly, and quickly heated (60 °C/min) to the target curing temperature. Measurements always began



**Figure 1** Diagram of the equipment for rheological measurements

**Slika 1.** Prikaz opreme za reološka mjerenja

immediately after achieving the target temperature. Five curing temperatures were used for each individual adhesive: 30, 40, 50, 60 and 80 °C. Additionally, cooling from 80 °C to 30 °C was used in order to determine the cooling effect on the rheological properties of the cured EPOX 210 epoxy resins.

During the measurements, a control program was used to compensate for the thermal expansion of the test specimen dimensional changes during curing by maintaining a controlled normal force, which enabled the characterization of the cure over the whole conversion range. All the test specimens were prepared in the laboratory at 20 °C and at a relative humidity of 65 %.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3. REZULTATI I RASPRAVA

##### 3.1. Rheological analysis

##### 3.1. Reološka analiza

The rheological analysis used during the oscillatory test provided a total curing profile for the studied epoxy adhesives. Information about the curing behaviour of the adhesives was gained in terms of the measured storage modulus  $G'$  and the loss modulus  $G''$ . The curing profiles of the investigated epoxy adhesives at room temperature (30 °C) are shown in Figure 2. It can be observed, in the case of all the studied adhesives, that at the start of the curing,  $G''$  is greater than  $G'$  because the systems show a liquid type of behaviour. Then, both  $G'$  and  $G''$  increase as the cross-linking reaction progresses to a crossover point; here the systems present both elastic and viscous behaviour, storing a similar amount of the dissipated energy. In this zone gelation occurs. Later, the curing reaction progresses, and  $G'$  approached its maximum values whereas  $G''$  reached a peak and then started to decrease. In this zone vitrification occurred.

Gelation and vitrification of the adhesive can be detected through changes in the dynamical mechanical

properties. Several different criteria can be used to define the gelation and vitrification times. The most generally accepted criterion for gelation is the crossover point of the shear storage modulus and loss modulus. However some authors consider that, in the case of many systems, the gel point is not necessarily equal to the calculated value at  $G' = G''$  (Winter, 1987; Núñez *et al*, 2005). Another criterion is that gelation occurs when viscosity increases exponentially to infinity. The problem is that infinity viscosity is very difficult to detect. One of the methods to identify the gel point is the criterion of the tangent line to the  $G'$  curve; the gel time is detected by the crossover between the tangent line at  $G'$  when this curve reaches a value close to 100 kPa·s and a baseline  $G'' = 0$  (Laza *et al*, 1998).

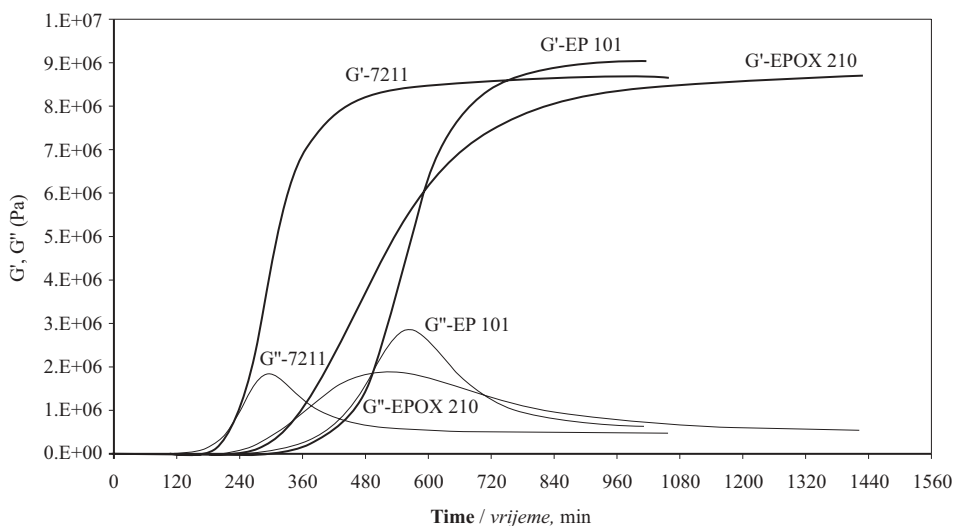
There is no generally accepted criterion for the detection of vitrification. In the case of the investigated epoxy resins, it was found that rheological vitrification is a gradual process that extends over a wide temperature range, depending on the criterion used. Vitrification can be determined from: the maximum  $\tan \delta$  peak at 1 Hz, the maximum  $G''$  peak at 1 Hz, the onset of frequency dependence in  $G'$ , and with the end of frequency dependence in  $G'$  (Zheng, 2002). In this study, gel time ( $t_{gel}$ ) was taken as the time corresponding to the crossover of  $G'/G''$ . Vitrification time ( $t_{vit}$ ) was determined as the time corresponding to the time at which  $G''$  has a peak at 1 Hz. According to the so determined gel time and the vitrification time for curing adhesives at room temperature, the epoxy system 7211 cured fastest ( $t_{gel}=238$  min,  $t_{vit}=297$  min), followed by EPOX 210 ( $t_{gel}=345$  min,  $t_{vit}=527$  min), and EP 101 ( $t_{gel}=499$  min,  $t_{vit}=565$  min).

##### 3.2 The effect of temperature on curing profile of adhesives

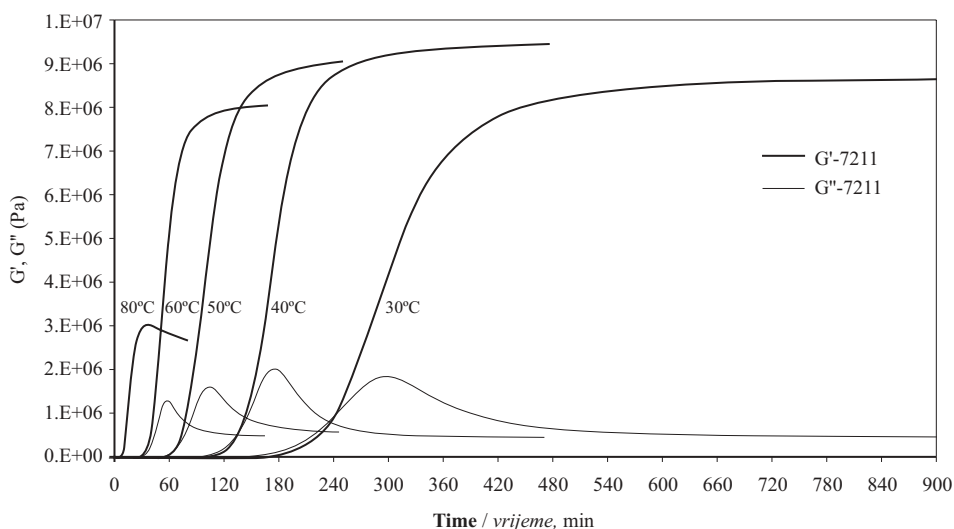
##### 3.2. Utjecaj temperature na profile otvrdnjavanja ljepila

In order to characterize the influence of temperature on the curing process (i.e. on the storage and loss moduli, respectively), four additional higher temperatures (as well as 30 °C) were used for curing: 40, 50, 60, and 80 °C. It was observed (Fig. 3) that increasing the temperature accelerated the curing reaction of the epoxy adhesive 7211, but dramatically diminished the maximum values of  $G'$  and  $G''$ . Also, time for transitions (i.e. gelation and vitrification) decreased with the increasing curing temperature. This was expected because the reaction of the adhesives was thermally accelerated. Similar behaviour was observed in the case of the other two adhesives (Fig. 4 and Fig. 5), but at different time periods.

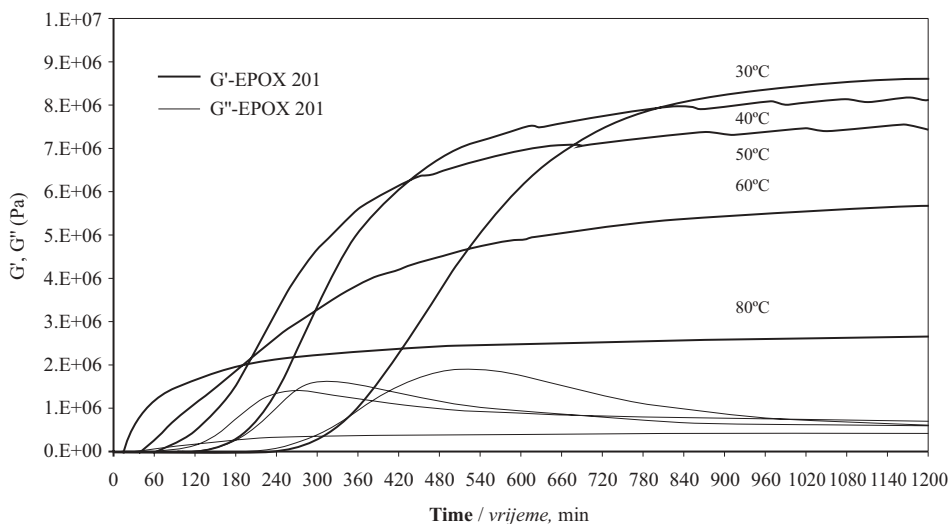
The gel times and vitrification times for all three epoxy adhesives (Table 1), studied at different temperatures, were determined according to the above described criteria. It can be seen that gel time shortened with higher temperatures. This can be explained by the fact that when the temperature increases molecular mobility also increases, so the curing reaction occurs more rapidly. The vitrification times also shortened with higher temperatures, with some exceptions (EP 101 and EPOX 210 at 60 and 80 °C).



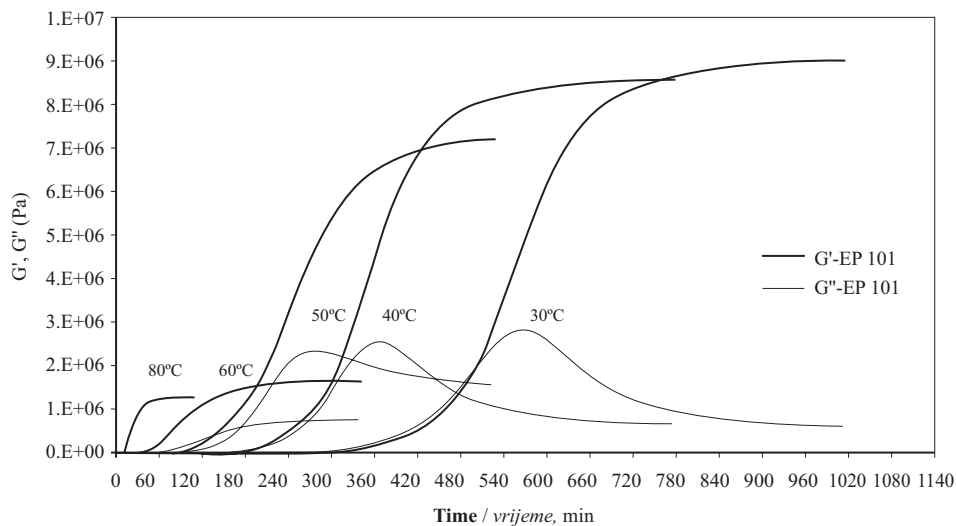
**Figure 2** Curing profiles of epoxy adhesives at temperature of 30 °C  
**Slika 2.** Profili otvrdnjavanja epoksidnih ljepila pri temperaturi 30 °C



**Figure 3** Plots of  $G'$  and  $G''$  against time for the adhesive 7211, corresponding to the isothermal cure, at different curing temperatures  
**Slika 3.** Krivulje ovisnosti modula  $G'$  i  $G''$  o vremenu za ljepilo 7211 dobivene praćenjem krivulja izotermnog otvrdnjavanja pri različitim temperaturama otvrdnjavanja



**Figure 4** Plots of  $G'$  and  $G''$  against time for the adhesive EPOX 201, corresponding to the isothermal cure, at different curing temperatures  
**Slika 4.** Krivulje ovisnosti modula  $G'$  i  $G''$  o vremenu za ljepilo EPOX 201 dobivene praćenjem krivulja izotermnog otvrdnjavanja pri različitim temperaturama otvrdnjavanja



**Figure 5** Plots of  $G'$  and  $G''$  against time for the adhesive EP 101, corresponding to the isothermal cure, at different curing temperatures

**Slika 5.** Krivulje ovisnosti modula  $G'$  i  $G''$  o vremenu za ljepilo EP 101 dobivene praćenjem krivulja izotermnog otvrdnjavanja pri različitim temperaturama otvrdnjavanja

The influence of temperature on the curing process can be explained by the nature of epoxy adhesives. The epoxy adhesive, as a thermoset polymer, is a material whose properties are dependent not only on the test environment but also on its thermal and environmental history. A thermoset adhesive has a glass transition temperature ( $T_g$ ) (Lapique and Redford, 2002). Glass transition is a phase change of amorphous solids, such as glasses and polymers. A non-crystalline material is converted to a relatively hard, elastic and glassy state from a soft, elastic-plastic and rubbery state when cooled through its  $T_g$  (Li, 2000).  $T_g$  is influenced by different factors such as composition of the resin molecule, cross-link density, the polar nature of the functional groups of resin molecules, the curing agent or catalyst, curing time and curing temperature (Tamulewich and Moore, 1980). Basically polymers with longer molecular chains, more hydrogen bonds, polar or polarizable groups and cross-linking networks tend to have a higher  $T_g$ . On the other hand materials with symmetric (non-polarized) molecular structures or with a plasticizer (softener) tend to have a lower  $T_g$  (Li, 2000).

The glass transition temperature is a direct measurement of molecular mobility. Below  $T_g$ , a molecule is confined to its site, with a very limited group of branch movement freedom, and its free volume is relatively small. Whole molecules cannot move away from each other. Above  $T_g$ , a molecule has much more freedom of movement, and its free volume increases faster with

the temperature. Whole molecules can shift or slide away from each other (Li, 2000).

Other mechanical properties vary in accordance with these changes in the degree of cure and plastification. The temperature at which they are cured determines many of the properties of epoxy adhesives.  $T_g$  can be a measure of the degree of cure of an epoxy resin system. Therefore the cure time and temperature can have a very dramatic effect upon the  $T_g$  of any given epoxy system. At temperatures close to  $T_g$ , the values of the mechanical properties such as tensile strength, lap shear and adhesive bond shear and modulus are substantially reduced. This can be seen in Fig. 4; where the values of both moduli ( $G'$ ,  $G''$ ) diminish at higher temperatures. Above a temperature level of  $\sim 50$  °C both moduli were drastically reduced, because the cure temperature was near the glass transition temperature. At higher temperatures the curing times were diminished, too. At 30 °C the maximum value of  $G'$  was reached after  $\sim 1000$  min, whereas at 80 °C it was reached after only  $\sim 60$  min, which is almost 17 $\times$  less than at 30 °C.

### 3.3 The effect of temperature on $G'$ and $G''$ values of the cured adhesive

#### 3.3. Utjecaj temperature na vrijednosti $G'$ i $G''$ stvrdnutog ljepila

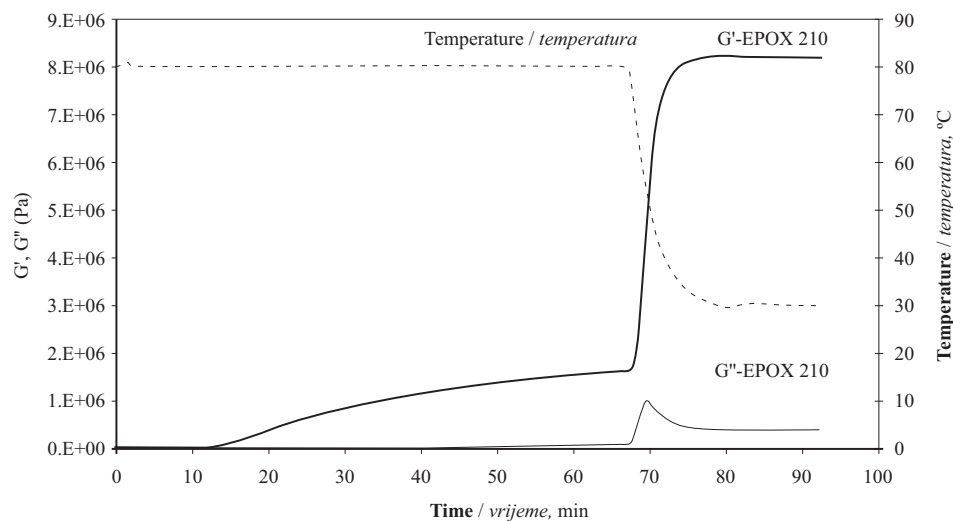
The effect of temperature on the  $G'$  and  $G''$  values corresponding to a cured adhesive was studied in detail with the EPOX 201 adhesive (Fig. 6). Measurements began after the target curing temperature (80 °C)

**Table 1** Gel ( $t_{gel}$ ) and vitrification ( $t_{vit}$ ) times for the studied epoxy adhesives

**Tablica 1.** Vrijeme geliranja ( $t_{gel}$ ) i staklenosti ( $t_{vit}$ ) za promatrana ljepila

Adhesive Ljepilo	EP 101		EPOX 210		7211	
	$t_{gel}$ , min	$t_{vit}$ , min	$t_{gel}$ , min	$t_{vit}$ , min	$t_{gel}$ , min	$t_{vit}$ , min
30	499	565	345	527	238	297
40	186	365	151	321	139	174
50	91	277	69	272	64	103
60	44	334	38	457	30	57
80	8	103	11	1183	6	33





**Figure 6** The influence of heating and immediate cooling on  $G'$  and  $G''$  values of the EPOX 210 adhesive  
**Slika 6.** Utjecaj grijanja i trenutnog hlađenja na vrijednosti  $G'$  i  $G''$  ljepila EPOX 210

had been reached. When the maximum value of  $G'$  had been reached, the heating stopped. Cooling was then started from 80 °C to 30 °C with a temperature ramp of 30 °C/min. It can be seen that, after cooling,  $G'$  increased to a value that is practically the same as if the curing process had occurred at 30 °C. As mentioned above, the reason for such behaviour lies in the glass transition temperature. In the first part of the experiment, the curing temperature was near  $T_g$ ; which explains why both moduli were so low. After cooling, both moduli became increasingly higher.

## 4 CONCLUSIONS

### 4. ZAKLJUČCI

The rheological properties of three different epoxy adhesives were investigated at five curing temperatures. Gelation and vitrification were detected through changes in the dynamic mechanical properties for each individual adhesive. According to the determined gel times and vitrification times for the curing of the adhesives at room temperature, the epoxy system 7211 cured fastest ( $t_{gel}=238$  min,  $t_{vit}=297$  min), followed by EPOX 210 ( $t_{gel}=345$  min,  $t_{vit}=527$  min) and EP 101 ( $t_{gel}=499$  min,  $t_{vit}=565$  min). The results showed that the curing temperature had a significant influence on the rheology of the investigated epoxy adhesives. It was observed that increased temperatures accelerated the curing reaction of all of the studied epoxy adhesives, but dramatically diminished the maximum achieved values of  $G'$  and  $G''$ . The time for the transitions such as gelation and vitrification decreased with increased curing temperatures. The effect of temperature on the  $G'$  and  $G''$  values of the cured adhesive was clear: cooling of the cured adhesive from 80 °C to 30 °C increased the  $G'$  and  $G''$  values several times, which was associated with the glass transition behaviour of the adhesive.

### Acknowledgements – Zahvala

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Slovenian Research Agency within the framework of the research program P4-0015-0481.

## 5 REFERENCES

### 5. LITERATURA

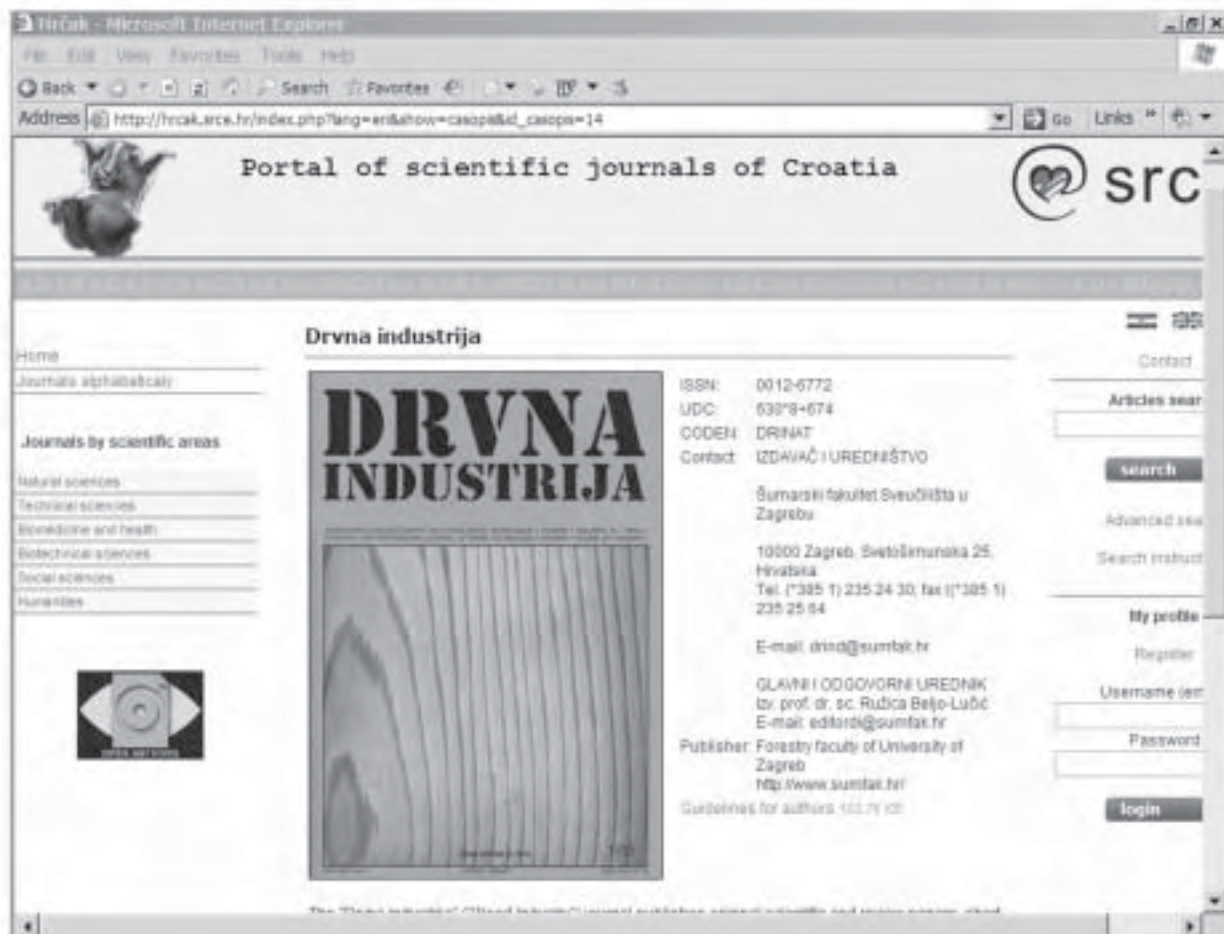
- Bernasconi, A., 2001: Axially loaded glued-in rods for high capacity joints - behaviour and resistance. In: Proceedings of the International RILEM - Symposium on Joints in Timber Structures. Stuttgart, pp. 373-381.
- Broughton, J.G.; Hutchinson, A.R., 2001: Adhesive systems for structural connections in timber. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2: 177-186  
doi:10.1016/S0143-7496(00)00049-X
- Calabrese, L.; Valenza, A., 2003: Effect of CTBN rubber inclusions on the curing kinetic of DGEBA—DGEBF epoxy resin. *Eur. Polym. J.* 39: 1355-1363.  
doi:10.1016/S0014-3057(02)00390-7
- Chans, O.M.D.; Cimadevila, E.J.; Gutiérrez, M.E.; Rodríguez, V.J.A., 2010: Influence of timber density on the axial strength of joints made with glued-in steel rods: An experimental approach. *Int. J. Adhes. Adhes.* 30: 380-385. doi:10.1016/j.ijadhadh.2010.03.004
- Cimadevila, E.J.; Rodríguez, V.J.A.; Chans, O.M.D., 2007: Experimental behaviour of threaded steel rods glued into high – density hardwood. *Int. J. Adhes. Adhes.* 27: 136-144. doi:10.1016/j.ijadhadh.2006.01.006
- Custódio, J.; Broughton, J.; Cruz, H., 2009: A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. *Int. J. Adhes. Adhes.* 29: 173-185. doi:10.1016/j.ijadhadh.2008.03.002
- Gattesco, N.; Gubana, A., 2001: Experimental tests on glued joints under axial forces and bending moments. In: Proceedings of the International RILEM - Symposium on Joints in Timber Structures. Stuttgart, pp. 353-362.
- Harper, D.P.; Wolcott, M.P.; Rials, T.G., 2001: Evaluation of the cure kinetics of the wood/pMDI bond line. *Int. J. Adhes. Adhes.* 21: 137-144.  
doi:10.1016/S0143-7496(00)00045-2
- Lapique, F.; Redford, K., 2002: Curing effects on viscosity and mechanical properties of a commercial epoxy resin adhesive. *Int. J. Adhes. Adhes.* 22: 337-346.  
doi:10.1016/S0143-7496(02)00013-1
- Laza, J.M.; Julian, C.A.; Larrauri, E.; Rodriguez, M.; Leon, L.M., 1998: Thermal scanning rheometer analysis of curing kinetic of an epoxy resin. 2. An amine as curing agent. *Polym.* 40: 35-45.  
doi:10.1016/S0032-3861(98)00217-1

11. Li, R., 2000: Time-temperature superposition method for glass transition temperature of plastic materials. *Mater. Sci. Eng. A278*: 36-45. doi:10.1016/S0921-5093(99)00602-4
12. Montserrat, S.; Roman, F.; Colomer, P., 2003: Vitrification and dielectric relaxation during the isothermal curing of an epoxy - amine resin. *Polym.* 44: 101-114. doi:10.1016/S0032-3861(02)00745-0
13. Núñez, L.; Gómez-Barreiro, S.; Gracia-Fernández, C.A., 2005: Study of the influence of isomerism on the curing properties of the epoxy system DGEBA(n=0)/1,2-DCH by rheology. *Rheol. Acta.* 45: 184-191.
14. Rossignon, A.; Espion, B., 2008: Experimental assessment of the pull-out strength of single rods bonded in glulam parallel to the grain. *Holz als Roh- und Werkstoff.*
15. Sernek, M.; Kamke, F.A., 2007: Application of dielectric analyses for monitoring the cure process of phenol formaldehyde adhesive. *Int. J. Adhes. Adhes.* 27: 562-567. doi:10.1016/j.ijadhadh.2006.10.004
16. Serrano, E., 2001: Glued-in rods for timber structures – An experimental study of softening behaviour. *Mater. Struct.* 34: 228-234. doi:10.1007/BF02480593
17. Steiger, R.; Gehri, E.; Widmann, R., 2006: Pull-out strength of axially loaded steel rods in glulam parallel to the grain. *Mater. Struct.* 40: 69-78. doi:10.1617/s11527-006-9111-2
18. Tamulevich, T.W.; Moore, V., 1980: The Significance of Glass Transition Temperature on Epoxy Resins for Fiber Optic Applications. Epoxy Technology Inc. <http://www.epotek.com/SSCDocs/whitepapers/Tech%20Paper%2011.pdf>. Accessed 15 September 2010
19. Widman, R.; Steiger, R.; Gehri, E., 2007: Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain. *Mater. Struct.* 40: 827-838. doi:10.1617/s11527-006-9214-9
20. Zheng, J., 2002: Studies of PF resole / isocyanate hybrid adhesives. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University
21. Winter, H.H., 1987: Can the gel point of a cross-linking polymer be detected by the G' - G'' crossover? *Polym. Eng. Sci.* 27: 1698-1702. doi:10.1002/pen.760272209
22. Winter, H.H., 2008: Physical and Chemical Gelation. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, p.p. 6991-6999.

**Corresponding address:**

Associate Professor MILAN ŠERNEK, Ph.D.

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty  
Department of Wood Science and Technology  
Rožna dolina, C. VIII/34  
SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: milan.sernek@bf.uni-lj.si



Portal of scientific journals of Croatia

<http://hrcak.srce.hr/>

Jaroslav Hrázský, Pavel Král<sup>1</sup>

# Optimization of a Pressing Diagram in OSB Pressing

## Optimizacija dijagrama prešanja pri prešanju OSB ploča

**Original scientific paper • Izvorni znanstveni rad**

Received – prispjelo: 27. 9. 2010.

Accepted – prihvaćeno: 25. 2. 2011.

UDK: 630\*863.21

doi:10.5552/drind.2011.1032

**ABSTRACT** • This paper summarizes the results of a pressing diagram optimization based on changes in pressure, temperature and distance between frames of a continuous press during Oriented Strand Boards (OSB) pressing. Tests of selected mechanical properties were carried out on OSB/3 boards with a nominal thickness of 18 mm - a basic type with urea-formaldehyd (UF) glue in surface layers and isocyanate glue (PMDI) in the central layer and further an ECO type with PMDI glue in all layers produced by a prominent manufacturer of OSB boards in the Czech Republic. OSB/3 boards are intended for structural purposes for use in wet environments. Changes in the pressing diagram were carried out at the stage of “press opening”, which significantly affects mechanical and physical properties of OSB boards. In order to be able to compare the effects of changes in the pressing curve, the same setting of production parameters was used with all tested boards. The results of laboratory tests were compared with the values given in the ČSN EN 300 Standard. Optimization of the pressing process ranks among the most effective measures to increase the quality of particle boards at zero or minimum costs. The control of production processes is increasingly perfect thanks to the development of electronics, control and computer technology. At present, not only in our country but also worldwide, marked development of wooden constructions occurs thanks to the development of new types of wood-based composite materials and to the development of technologies in building industry. OSB boards are an important representative of wood-based composite materials for wooden constructions. As compared to natural material, OSB boards show a homogenous structure not including natural defects typical of solid wood. From the point of view of physical and mechanical properties, OSB boards are of orthotropic character.

**Keywords:** OSB, pressing, technical properties, isocyanate glue (PMDI), urea-formaldehyd glue (UF)

**SAŽETAK** • U radu se prikazuju rezultati optimizacije dijagrama prešanja utemeljeni na promjenama tlaka, temperature i udaljenosti između okvira kontinuirane preše pri prešanju ploča s usmjerenim iverjem – OSB ploča (Oriented Strand Boards). Mehanička svojstva mjerena su na pločama OSB/3, nominalne debljine 18 mm, na osnovnom tipu ploče s urea-formaldehidnim (UF) ljepilom u vanjskom sloju i izocijanatnim (PMDI) ljepilom u središnjem sloju te na ekološkom tipu ploče s PMDI ljepilom u svim slojevima, koje je proizveo priznati proizvođač OSB ploča u Republici Češkoj. OSB/3 ploče upotrebljavaju se za konstrukcijske svrhe u vlažnom okruženju. Promjene u dijagramu prešanja napravljene su u fazi “otvaranja preše”, koja bitno utječe na mehanička i fizikalna svojstva OSB ploča. Da bi se mogli uspoređivati učinci promjena u dijagramu prešanja, za sve su uzorke ploča upotrijebljeni jednaki parametri proizvodnje. Rezultati laboratorijskih mjerenja uspoređeni su s podacima iz norme ČSN EN 300. Optimizacija procesa prešanja pripada najučinkovitijim načinima povećanja kvalitete ploča iverica uz male troškove ili bez ikakvih izdataka. Kontrola procesa proizvodnje postala je bitno bolja zahvaljujući razvoju elektronike, kontrolne i računalne tehnologije. Trenutačno se u svijetu bilježi znatan porast upotrebe kon-

<sup>1</sup> The authors are assistant professors at the Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University, Brno, Czech Republic.

<sup>1</sup> Autori su docenti Fakulteta Šumarstva i drvne tehnologije Mendelova sveučilišta u Brnu, Republika Češka.

*strukcijskog drva zahvaljujući razvoju novih kompozitnih materijala od drva i novih tehnologija građenja. OSB ploče važan su predstavnik kompozitnih materijala za drvene konstrukcije. U usporedbi s prirodnim materijalima, prednost OSB ploča je to što imaju homogenu strukturu bez grešaka koje su tipične za masivno drvo. Sa stajališta fizikalnih i mehaničkih svojstava, OSB ploče su ortotropan materijal.*

**Ključne riječi:** OSB ploče, tehnička svojstva, izocijanatno ljepilo (PMDI), urea-formaldehidno ljepilo (UF)

## 1 INTRODUCTION

### 1. UVOD

Hot pressing is considered to be the most important operation in the whole process of particleboard production. The aim of pressing is to compress particle mats to a required thickness and also to densify and fix the chips in this stage through glue hardening. The particle mat represents a complicated system of wood particles, water and chemical admixtures, which is fed into the wedged entrance of a hot continuous press where it is gradually thickened to a nominal thickness through the pressure of steel pressing belts and, at the same time, heated by the belts to the required reaction temperature (Kühne and Belimow, 1978). After passing all stages of the pressing process and after partial cooling and reducing the working pressure in the last part of the continuous press, the pressed material leaves the press (Hrázský and Král, 2007).

Immediately after putting the chip mat into the press, surface layers of the mat meet with hot pressing belts of the continuous press and thus intensive exchange occurs between the belts and the chip mat. This intensity depends on the temperature gradient whose size is continuously changed in the hot pressing process because the chip mat temperature changes during this procedure. The process of the heat transfer occurs in two directions, namely perpendicular to the board plane and in parallel with the board plane. The transfer of heat is realized through heat conductivity, convection and heat emission (radiation). The heat conductivity of a chip mat is calculated from the heat conductivity of wood particles, water, air and chemical admixtures. The heat transfer through the material originates from the flow of water vapour and diffusion of moisture contained in the chip mat. (Bolton *et al*, 1989). In consequence of the unevenly distributed moisture in the chip mat and moisture differences between the chip mat and surroundings, two moisture gradients occur, thereby generating moisture diffusion. The first moisture gradient becomes particularly evident perpendicular to the mat plane towards the central layer of the mat. After drying-up the upper chip layer, the direction of this gradient changes by 180°, simultaneously with the change of the pressure gradient direction. The second moisture gradient occurs in parallel with the mat plane toward the surroundings. The transfer of heat by the flow of water vapours and gases is particularly intensive. Their flow is caused by producing inner pressure. At the contact of hot pressing belts (about 220 °C) with the chip mat, intensive formation of vapours occurs first in the surface zone. At the same time, air contained in the surface layer is heated, which results in increasing the volume. Therefore, corre-

sponding overpressure is generated in the mat surface zone, which results in the development of two pressure gradients. One pressure gradient occurs in the direction perpendicular to the chip mat plane. At the beginning of pressing, its direction first takes place towards the inner layers of the mat. After heating the central layer to a temperature of about 100 °C, the inner pressure is generated in this area by vapours formed from the existing moisture, which will result in the change of the direction of pressure gradient by 180°. Through this pressure in the chip mat, the second pressure gradient is created, which functions in parallel with the mat plane towards the surroundings. The time effect of pressure and temperature gradients results in the process of material transfer in the hot pressing process. Heat, material and pressure processes determine to a great extent the quality of products and the production line productivity. The compressing process in the press is controlled from outside through temperature, pressure and the speed of the maximum working pressure start. The higher the temperature the higher the relative resistance to the compression of a chip mat not yet heated (Deppe and Ernst, 1991).

The pressing temperature will always play an important - crucial role. The pressing cycle principally consists of three stages: time  $t_1$  – until reaching the nominal thickness of a pressed material, time  $t_2$  – effects of the maximum working pressure and the course of an actual board-formation process,  $t_3$  – ventilation, cooling, pressure reduction and leaving the continuous press. The course of the pressing process is programmed in practice. If pressure and time are selected as control values ( $p, t_1$  – program), the speed of reaching the nominal thickness and maximum working pressure depends on the resistance of the pressed material to pressing (compression). If travel and pressure are the starting basis ( $s, p$  – program), then resistance to pressing (compression) is affected by time  $t_1$  and in a program the distance from the entry point, time ( $s, t$  – program), is the third control element, i.e. pressure in pistons (hydraulic pressure). External control values, namely pressure ( $p$ ), piston speed ( $v$ ) and time ( $t$ ) are measurable and adjustable; they can be set within certain limits. As the inner resistance to pressing (compression) is unknown and measurable with difficulties, only two external control values are always programmable. In the course of the development of particleboards, both pressing temperature and working pressure were increased (Štefka, 1999).

There were expectations that rapid achievement of maximum pressing pressure will be avoided by using low-quality surface area, but they were not always satisfactorily met.

**Table 1** Adjusted manufacturing parameters for OSB/3, 18 mm nominal thickness

**Tablica 1.** Postavljeni proizvodni parametri za ploče OSB/3 nominalne debljine 18 mm

Nominal thickness <i>Nominalna debljina</i> mm	Press factor <i>Faktor prešanja</i> s/mm	Calculating density <i>Izračunana gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	Amount of glue <i>Količina ljepila</i>		Chips moisture content before blending <i>Sadržaj vode u iverju prije miješanja</i>	
			UF (SL*) %	PMDI (ML*) %	SL %	ML %
18.0	7.54	575	3.1	3.5	5.1	3.9

\*SL – surface layer / *vanjski sloj*; ML – middle layer / *središnji sloj*

**Table 2** Adjusted manufacturing parameters for OSB/3 ECO, 18 mm nominal thickness

**Tablica 2.** Postavljeni proizvodni parametri za ekološke ploče OSB/3 ECO nominalne debljine 18 mm

Nominal thickness <i>Nominalna debljina</i> mm	Press factor <i>Faktor prešanja</i> s/mm	Calculating density <i>Izračunana gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	Amount of glue <i>Količina ljepila</i>		Chips moisture content before blending <i>Sadržaj vode u iverju prije miješanja</i>	
			PMDI (SL*) %	PMDI (ML*) %	SL %	ML %
18.0	7.54	575	3.1	3.5	5.1	3.9

\*SL – surface layer / *vanjski sloj*; ML – middle layer / *središnji sloj*

Štefka (2007) supposed that residual stress was caused by the pressure of vapours originating from moisture contained in the chip mat. This fact can cause not only larger or smaller springing of the board, but at excessive moisture, also ripping of the board. Therefore, the pressing process has to be carried out in such a way not only to achieve the optimum construction of particle boards from the aspect of the density profile but also the required strength of bonding the chips, which is, as a matter of fact, the basic condition of good properties of particleboards.

The aim of this paper was to optimize the pressing diagram on the basis of measuring changes of pressure and temperature and distance between frames of a continuous press in the board in OSB pressing. Changes of the pressing curve were carried out at the stage of “press opening” because these changes substantially affected physical and mechanical properties of OSB boards.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2. MATERIJAL I METODE

Pressing the OSB boards was carried out using the Dieffenbacher CPS 280-53/OSB continuous press, an OSB production line of a prominent Czech manufacturer of board composite materials in the Czech Republic. The pressing process proceeded between two steel belts running along a fixed pressing line. This line consists of 41 identical pressing frames. Furthermore, the press consists of an upper and lower heating plate. The lower plate is supported by 160 hydraulic cylinders, situated on lower beams. The lower heating plate moves up by means of hydraulics producing pressure on the chip mat through roller chains and steel belts. Warming the heating plates is performed by thermo oil. In the process of pressing in a continuous press, the following pressure and temperature phases are distinguished:

Pressing phase	Temperature, °C	Specific pressure, N/mm <sup>2</sup>
1- Input	220 – 225	3.0
2-	215 - 230	1.6
3- Centre	215 – 225	1.7
4-	205 – 215	0.8
5- Output	200 – 180	0.05

Setting the production parameters of the OSB line:

The course of a pressing diagram particularly affects the bending strength (MOR), modulus of elasticity in bending (MOE) and most of all tensile strength perpendicular to the board plane. OSB boards sampled for tests of the OSB mechanical properties were glued in 1.1 – 1.3 variants by using UF glue in surface layers and by PMDI glue in the central layer (Tab. 1). In variants 2.1 – 2.3, the PMDI glue is used both for surface and central layers (Tab. 2). Requirements for boards of the OSB/3 technical class are determined by the ČSN EN 300 Standard. Test procedures to determine the bending strength in both axes are described in the ČSN EN 310 Standard and a test procedure to determine the tensile strength perpendicular to the board plane is described in the ČSN EN 319 Standard.

OSB/3 boards within thickness ranging between 18 and 25 mm have to fulfil the following requirements according to the ČSN EN 300 Standard – see Tab. 3.

In the manufacture of experimental OSB boards, for each variant of the pressing diagram three trial boards were sampled at the stage of “press opening” and necessary test specimens were cut from the boards according to the cutting plan (Fig. 1). At the end of pressing (all variants), the following tracks were selected: in variants 1.1 and 2.1 very fast “press opening” (i.e. larger distances in setting gaps between frames and larger differences in pressure between particular frames of the press – see Tabs. 4 and 7), in variants 1.2 and 2.2 gradual “press opening” (i.e. smaller differences between frame distances and smaller differences in pressure between particular frames) – see Tabs. 5 and 8 and in variants 1.3 and 2.3 very gradual “press opening” (i.e. small differences between distances of frames and small differences in pressure between particular frames of the press) – see Tabs. 6 and 9.

Test specimens were cut from sampled experimental OSB boards of particular variants, and tests were carried out of selected mechanical properties. Dimensions of test specimens are determined by the ČSN EN 325 Standard. To obtain test specimens, the manufacturer plan of cutting (sawing) was used (Fig. 1).

**Table 3** Requirements related to OSB/3 according to ČSN EN 300

**Tablica 3.** Zahtjevi za OSB ploče prema ČSN EN 300

OSB/3	Standard Norma	Unit Jedinica	Requirements / Zahtjevi		
			Range of thickness, mm (nominal values) Raspon nominalnih debljina, mm		
			6 to 10	>10 to <18	18 to 25
Properties / Svojstvo					
MOR $\parallel$	ČSN EN 310	N/mm <sup>2</sup>	22	20	18
MOR $\perp$	ČSN EN 310	N/mm <sup>2</sup>	11	10	9
MOE $\parallel$	CSN EN 310	N/mm <sup>2</sup>	3500	3500	3500
MOE $\perp$	ČSN EN 310	N/mm <sup>2</sup>	1400	1400	1400
$\sigma_{\perp}$	ČSN EN 319	N/mm <sup>2</sup>	0.34	0.32	0.30
Swelling / Bubrenje	ČSN EN 317	%	15	15	15

Legend / Legenda: MOR – Bending strength / savojna čvrstoća; MOE – Modulus of elasticity / modul elastičnosti;  $\sigma_{\perp}$  – Tensile strength perpendicular / vlačna čvrstoća okomito

**Table 4** Variant 1.1 – Optimization of press diagram – „very fast press opening“

**Tablica 4.** Varijanta 1.1 – optimizacija dijagrama prešanja – „vrlo brzo otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: UF resin / vanjski sloj: UF ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.80	0.70	0.60	0.50	0.20	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	17.8	17.9	18.2	18.5	19.25	21.0

**Table 5** Variant 1.2 – Optimization of press diagram – „gradual press opening“

**Tablica 5.** Varijanta 1.2 – optimizacija dijagrama prešanja – „postupno otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: UF resin / vanjski sloj: UF ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.80	0.75	0.70	0.65	0.30	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	17.8	17.9	18.0	18.25	18.75	19.5

**Table 6** Variant 1.3 – Optimization of press diagram – „very gradual press opening“

**Tablica 6.** Varijanta 1.3 – optimizacija dijagrama prešanja – „vrlo postupno otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: UF resin / vanjski sloj: UF ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.75	0.72	0.68	0.65	0.45	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5

**Table 7** Variant 2.1 – Optimization of press diagram – „very fast press opening“

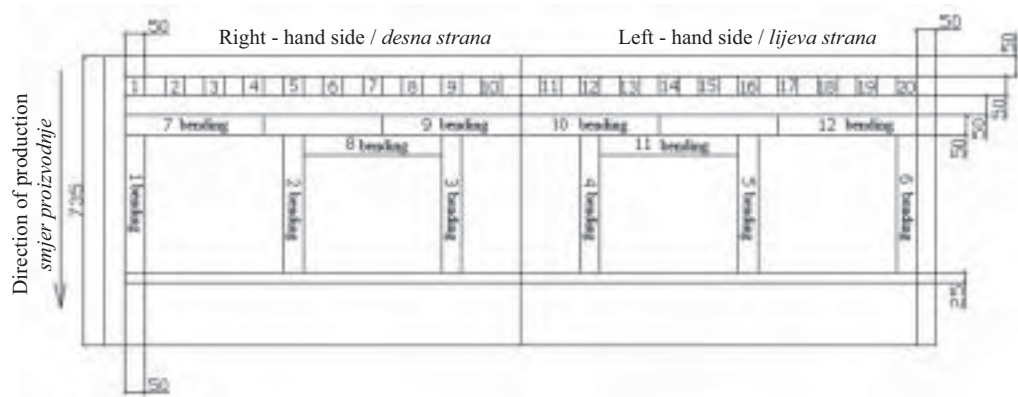
**Tablica 7.** Varijanta 2.1 – optimizacija dijagrama prešanja – „vrlo brzo otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: PMDI resin / vanjski sloj: PMDI ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.80	0.70	0.60	0.50	0.20	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	17.8	17.9	18.2	18.5	19.25	21.0

**Table 8** Variant 2.2 – Optimization of press diagram – „gradual press opening“

**Tablica 8.** Varijanta 2.2 – optimizacija dijagrama prešanja – „postupno otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: PMDI resin / vanjski sloj: PMDI ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.80	0.75	0.70	0.65	0.30	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	17.8	17.9	18.0	18.25	18.75	19.5



**Figure 1** Cutting plan for sampling test specimens (1-20: tensile strength perpendicular to the board surface; 1-12 bending: MOR and MOE)

**Slika 1.** Plan rezanja za izradu uzoraka (1-20 uzorci za mjerenje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče; 1-12 uzorci za savijanje i mjerenje veličina MOR i MOE)

**Table 9** Variant 2.3 – Optimization of press diagram – „very gradual press opening“

**Tablica 9.** Varijanta 2.3 – optimizacija dijagrama prešanja – „vrlo postupno otvaranje preše“

OSB/3 – surface layer: PMDI resin / vanjski sloj: PMDI ljepilo middle layer: PMDI resin / središnji sloj: PMDI ljepilo	Frame No. 36	Frame No. 37	Frame No. 38	Frame No. 39	Frame No. 40	Frame No. 41
Working pressure, N/mm <sup>2</sup> / Radni tlak, N/mm <sup>2</sup>	0.75	0.72	0.68	0.65	0.45	0.05
Pressing temperature, °C / Temperatura prešanja, °C	205	200	195	190	185	180
Distance between press frame, mm Udaljenost između okvira preše, mm	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3. REZULTATI I RASPRAVA

Laboratory tests were carried out on OSB/3 and OSB/3 ECO of 18-mm nominal thickness. The actual average values of thickness of the OSB/3 variants 1.1–1.3 and OSB/3 ECO variants 2.1–2.3 are listed in Tabs. 10–11. The results of tests of mechanical properties are shown in Tabs. 12–17.

The actual average values of thickness of the OSB/3 1.1–1.3 and OSB/3 ECO variants 2.1–2.3 are listed in Tabs. 10–11. The values are lower than 18 mm. Technical properties of OSB boards were, therefore, considered in the thickness category ranging between 10 and 18 mm.

The measurement of density showed that at the set value of production density of 575 kg/m<sup>3</sup>, the highest increase of mean density occurred in variants OSB ECO 2.1 and 2.2 (580 kg/m<sup>3</sup>) and, on the contrary, the highest decline of mean density (below the set production value)

was determined in variant OSB 1.2 (574 kg/m<sup>3</sup>). The mean density of variant OSB 1.1 reached the set production density (575 kg/m<sup>3</sup>). Hence, from the aspect of the density evaluation, this variant appears to be the most suitable. Based on the comparison between the requirements of the ČSN EN 300 Standard and the measured values, the density of variants OSB and OSB ECO ranges within the set limits ± 15 % according to the general requirements for particular types of OSB boards.

As for tensile strength perpendicular to the board plane, our measurements demonstrated that the highest decline of its mean value occurred in variant OSB 1.1 (0.31 N/mm<sup>2</sup>). This value does not meet the requirements of the ČSN EN 300 Standard for OSB/3 (0.32 N/mm<sup>2</sup>). The highest increase in the mean value of tensile strength perpendicular to the board plane occurred in Variant OSB 1.2 (0.38 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest increase in variants OSB ECO 2.1 and 2.2 (0.35 N/mm<sup>2</sup>). In other variants all determined values of tensile strength perpen-

**Table 10** Average thickness of OSB/3 for variants 1.1–1.3

**Tablica 10.** Srednja vrijednost debljine OSB/3 za varijante 1.1–1.3.

Thickness, mm / Debljina, mm	Variant 1.1 / Varijanta 1.1.				Variant 1.2 / Varijanta 1.2.				Variant 1.3 / Varijanta 1.3.			
	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$
OSB No.												
Average value $\bar{x}$ Srednja vrijednost	17,75	17,44	17,36	17,52	17,45	17,53	17,62	17,53	17,55	17,54	17,43	17,51

**Table 11** Average thickness of OSB/3 ECO for variants 2.1–2.3

**Tablica 11.** Srednja vrijednost debljine OSB/3 ECO za varijante 2.1–2.3.

Thickness, mm / Debljina, mm	Variant 2.1 / Varijanta 1.1.				Variant 2.2 / Varijanta 1.2.				Variant 2.3 / Varijanta 1.3.			
	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$
OSB No.												
Average value $\bar{x}$ Srednja vrijednost	17,48	17,24	17,48	17,52	17,66	17,19	17,58	17,48	17,40	17,45	17,58	17,48



**Table 12** Statistical evaluation for variant 1.1, OSB/3, 18 mm nominal thickness

**Tablica 12.** Statistička procjena rezultata za varijantu 1.1, OSB/3 nominalne debljine 18 mm

<b>Variant 1.1 / Varijanta 1.1.</b> <b>High-speed press opening</b> <i>Vrlo brzo otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b>σ<sub>L</sub></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR ⊥</b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE ⊥</b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	571	0.31	22.04	4627	13.85	2328
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	334.232	0.001	3.811	289611.868	1.694	7176.817
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	580	0.30	23.73	4864	14.21	2396
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	535.787	0.003	39.873	1154673.544	4.495	22850.805
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	572	0.31	25.01	4971	12.14	1984
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	806.876	0.001	13.886	499806.464	0.888	38764.905
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	575	0.31	23.62	4821	13.40	2236
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_x^2$ <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	27.539	0.00008	1.991	31015.143	1.220	48766.625
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $s_w^2$ <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	558.965	0.002	19.190	648030.626	2.359	22930.842

Legend / *Legenda:* MOR – Bending strength / *savojna čvrstoća*; MOE – Modulus of elasticity / *modul elastičnosti*; σ<sub>L</sub> – Tensile strength perpendicular / *vlačna čvrstoća okomito*

dicular to the board plane meet the requirements of the ČSN EN 300 Standard, viz. 0.32 N/mm<sup>2</sup>.

The highest mean value of the bending strength in the main axis was determined in variant OSB 1.1 (23.62 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest mean values were measured in variant ECO 2.1 (21.12 N/mm<sup>2</sup>). The ČSN EN 300 Standard requirement for this property is ≥ 20 N/mm<sup>2</sup>. Hence, satisfactory values were achieved in all variants. The highest mean value of the bending strength in the secondary axis was determined in variant ECO 2.2 (14.70 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest mean value

in variant OSB 1.2 (12.74 N/mm<sup>2</sup>). The ČSN EN 300 Standard requirement for this property is ≥ 10 N/mm<sup>2</sup>. Hence, satisfactory values were achieved in all variants.

The highest determined mean value of the modulus of elasticity in the main axis was found with OSB 1.3 (4956 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest mean value in variant ECO 2.2 (4754 N/mm<sup>2</sup>). The ČSN EN 300 Standard requirement for this property is ≥ 3500 N/mm<sup>2</sup>. Consequently, satisfactory values were achieved in all variants.

**Table 13** Statistical evaluation for variant 1.2, OSB/3, 18 mm nominal thickness

**Tablica 13.** Statistička procjena rezultata za varijantu 1.2, OSB/3 nominalne debljine 18 mm

<b>Variant 1.2 / Varijanta 1.2.</b> <b>Gradual press opening</b> <i>Postupno otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b>σ<sub>L</sub></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR ⊥</b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE ⊥</b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	575	0.39	21.96	4 886	13.55	2 330
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	588.467	0.008	3.567	51 934.749	4.515	30 658.713
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	574	0.39	24.02	4 825	12.36	2 018
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	216.046	0.001	11*.032	282 853.177	1.119	29 063.316
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	572	0.36	23.92	5 048	12.30	2 140
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	219.775	0.005	38.988	373 282.153	3.295	77 016.000
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	574	0.38	23.30	4 920	12.74	2 163
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_x^2$ / <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	3.634	0.00026	1.462	13 235.755	0.492	24 666.315
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $s_w^2$ <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	341.429	0.005	17.862	236 023.359	2.976	45 579.343

**Table 14** Statistical evaluation for variant 1.3, OSB/3, 18 mm nominal thickness

**Tablica 14.** Statistička procjena rezultata za varijantu 1.3, OSB/3 nominalne debljine 18 mm

<b>Variant 1.3 / Varijanta 1.3.</b> <b>Highly gradual press opening</b> <i>Vrlo postupno otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\sigma_{\perp}</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	579	0.41	22.52	4 938	12.76	2 336
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	668.390	0.004	10.526	213 257.723	1.424	15 029.237
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	578	0.34	23.90	4 973	14.01	2 313
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	444.462	0.004	10.254	267 188.534	0.538	28 779.073
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	571	0.37	21.85	4 958	12.89	2 244
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	78.012	0.004	18.062	713 755.949	3.154	54 230.130
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	576	0.37	22.76	4 956	13.22	2 298
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_{\bar{x}}^2$ / <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	18.830	0.001	0.230	306.753	0.468	2 304.553
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $\bar{s}_w^2$ / <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	396.955	0.004	12.947	398 067.402	1.705	32 679.480

The highest mean value of the modulus of elasticity in the secondary axis was found in variant ECO 2.2 (2378 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest mean value on average in variant OSB 1.2 (2163 N/mm<sup>2</sup>). The ČSN EN 300 Standard requirement for this property is  $\geq 1400$  N/mm<sup>2</sup>. Hence, satisfactory values were achieved in all variants.

We believe that the possible reasons for the lower values of tensile strength perpendicular to board plane in variant 1.1 and higher number of cracks are caused by compressing of chip mats resulting in inner elastic forces. The size of these forces depend strongly on the morphological size of the characteristic parameters of chips, fractions, tree species, moisture, temperature,

specific compression pressure and possibly of compression speed. The coherence of boards for venting and discharge of the press is based on the cohesion of gluing bridges that are formed by pressing. The mat always finds places that are more compressed. In the finished boards this causes stress, which may result in springing. If this feedback springing is too big, its symptom is poor adhesion of chips. This can lead to the formation of thin zones. These loose zones indicate using of the wrong glue and may result in the rapid opening of the press caused by lower tensile strength perpendicular to board plane. The lower coherence of the pressed board is then reflected in a faster opening of the press.

**Table 15** Statistical evaluation for variant 2.1, OSB/3 ECO, 18 mm nominal thickness

**Tablica 15.** Statistička procjena rezultata za varijantu 2.1, OSB/3 ECO nominalne debljine 18 mm

<b>Variant 2.1 / Varijanta 2.1.</b> <b>High-speed press opening</b> <i>Vrlo brzo otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\sigma_{\perp}</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE   </b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	579	0.35	18.92	4 535	12.52	2 159
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	257.277	0.003	7.194	292 168.325	5.543	67 091.186
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	579	0.36	22.55	4 749	13.18	2 238
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	253.923	0.003	21.075	916 820.112	4.474	66 075,029
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	581	0.35	21.90	5 042	15.55	2 365
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	163.981	0.004	32.861	609 745.742	1.765	9 763.937
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	580	0.35	21.12	4 775	13.75	2 254
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_{\bar{x}}^2$ / <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	1.237	0.00001	3.836	64 750.495	2.529	10 819.885
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $\bar{s}_w^2$ / <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	225.06	0.003	20.377	606 244.726	3.928	47 643.384

**Table 16** Statistical evaluation for variant 2.2, OSB/3 ECO 18 mm nominal thickness

**Tablica 16.** Statistička procjena rezultata za varijantu 2.2, OSB/3 ECO, nominalne debljine 18 mm

<b>Varijanta 2.2 / Varijanta 1.2.</b> <b>Gradual press opening</b> <i>Postupno otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\sigma_{\perp}</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\parallel</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\parallel</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	577	0.35	23.38	4 555	15.94	2 686
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	365.180	0.004	33.571	1149041.76	12.414	1 059144.972
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	588	0.32	22.31	4 937	14.39	2 240
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	168.308	0.003	32.296	675 353.939	0.684	40 808.001
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	574	0.38	22.62	4 769	13.77	2 208
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	251.575	0.004	25.026	516 186.162	2.200	22 819.537
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	580	0.35	22.77	4 754	14.70	2 378
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_x^2$ / <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	48.728	0.0009	0.219	36 648.388	1.252	71 144.966
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $\bar{s}_w^2$ <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	261.688	0.004	30.297	780 193.953	5.100	374 257.503

**4 CONCLUSION**

**4. ZAKLJUČCI**

The aim of this paper was to optimize a pressing diagram on the basis of measuring changes of pressure and temperature in the board in the course of pressing. Changes of the pressing diagram were carried out at the stage of “press opening” because these changes substantially affected physical and mechanical properties of OSB boards. For each change of “press opening” three boards were sampled and used to cut test samples. With these specimens, the following parameters were determined: density, tensile strength perpendicular to the board plane, bending strength and the modulus of elasticity in bending in the main and secondary axes of production.

dulus of elasticity in bending in the main and secondary axes of production.

In variant 1.1 (very fast “press opening”), the unsatisfactory mean value of tensile strength perpendicular to the board plane was detected, exactly 0.31 N/mm<sup>2</sup>. In this variant, increased formation of vapour “blisters” and cracking of the boards occurred due to very fast cooling and outflow of water vapours after shortening the process to the required time, namely about 5% of OSB production. So, this variant is unusable in production since it is impossible to achieve the required values of tensile strength perpendicular to the board plane as well as due to the large number of wasters. According to the measured laboratory results, the

**Table 17** Statistical evaluation for variant 2.3, OSB/3 ECO, 18 mm nominal thickness

**Tablica 17.** Statistička procjena rezultata za varijantu 2.3, OSB/3 ECO nominalne debljine 18 mm

<b>Varijanta 2.3 / Varijanta 1.3.</b> <b>High gradual press opening</b> <i>Vrlo postupno otvaranje preše</i>	<b>Density</b> <i>Gustoća</i> kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\sigma_{\perp}</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\parallel</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\parallel</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOR <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>	<b>MOE <math>\perp</math></b> N/mm <sup>2</sup>
<i>OSB No.1</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 1.</i>	576	0.36	21.04	5 020	14.26	2 304
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	329.134	0.004	16.347	403 166.399	2.677	30 532.841
<i>OSB No.2</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 2.</i>	581	0.38	23.45	4 535	13.02	2 138
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	207.691	0.006	15.493	1431 889.08	1.080	19 486.849
<i>OSB No.3</i> Average value within the board $\bar{x}_j$ <i>Srednja vrijednost za ploču 3.</i>	574	0.33	23.34	5 100	13.26	2 134
Variance within the board $s_{wj}^2$ / <i>Varijanca unutar ploče</i>	110.865	0.004	21.026	604 861.700	0.217	18 594.528
Total average value $\bar{\bar{x}}$ / <i>Ukupna srednja vrijednost</i>	577	0.36	22.61	4 885	13.51	2 192
Variance of average values within the board s OSB 1–3 $s_x^2$ / <i>Varijanca srednje vrijednosti za ploče OSB 1–3.</i>	11.971	0.0004	1.942	93 612.425	0.431	9 387.606
Average value of variance values within the boards OSB 1–3 $\bar{s}_w^2$ / <i>Srednja vrijednost varijanci za ploče OSB 1–3.</i>	215.897	0.005	17.622	813 305.725	1.325	22 871.406

variant OSB/3 ECO, 2.2 gradual “press opening”, was evaluated as optimal.

#### **Acknowledgement – Zahvala**

This paper was supported by the Czech Republic Ministry of Education, Youth and Sports, Project. No. MSM 6515648902

## **5 REFERENCES**

### **5. LITERATURA**

1. Bolton, A.; Humphrey, P.; Kavvmouras, P., 1989: The hot pressing of the dry formed wood-based composites. Part IV. Predicted variation of mattress moisture content with time. *Holzforschung* 43 (5): 345-349. doi:10.1515/hfsg.1989.43.5.345
2. Deppe, H. J.; Ernst, K., 1991: Taschenbuch der Spanplattentechnik. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. DRW Verlag Leinfelden. 468 p.
3. Hrázský, J.; Král, P., 2007: Wood-based composites. Part I.: Chips and fibrematerials. MZLU Brno. 253 p.
4. Kühne, G.; Belimow, F., 1978: Ein Beitrag zur Analyse des Heisspressvorgangs dreischichtiger Möbelplatten II. *Holzindustrie* (2): 50-52.
5. Štefka, V., 2007: Wood-based composites. Part II: Agglomerated materials technology. TU Zvolen. 204 p.

6. Štefka, V., 1999: Particleboard pressing process and transfer phenoma. TU Zvolen. 61 p.
7. \*\*\*CSN EN 300. OSB-panels of oriented flat chips. Definition, classification and requirements. Czech standard institution, 1998:20.
8. \*\*\*CSN EN 310. Wood-based panels. Bending strength and modulus of elasticity determination. Czech standard institution, 1995:8.
9. \*\*\*CSN EN 319. Chips- and fibreboards. Tensile strength perpendicular to the board surface determination. Czech standard institution, 1994:12.
10. \*\*\*CSN EN 323. Wood-based panels. Density determination. Czech standard institution, 1994:8.

#### **Corresponding address:**

Assistant Professor JAROSLAV HRÁZSKÝ, Ph.D.

Faculty of Forestry and Wood Technology  
Mendel University  
Zemědělská 1  
613 00 Brno  
Czech Republic  
e-mail: hrazsky@mendelu.cz

# LABORATORIJ ZA ISPITIVANJE NAMJEŠTAJA I DIJELOVA ZA NAMJEŠTAJ



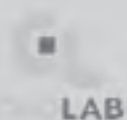
- ovlaštenu laboratorij za ispitivanje kvalitete namještaja i dijelova za namještaj
- istraživanje drvnih konstrukcija i ergonomije namještaja
- ispitivanje zapaljivosti i ekološkičnosti ojašanog namještaja
- sudska stručna vještačenja
- ispitivanje materijala i postupaka površinske obrade

Kvaliteta namještaja se ispituje i istražuje, postavljaju se osnove normi za kvalitetu, razvijaju se metode ispitivanja, a znanost i praksa, ruku pod ruku, kroče naprijed osiguravajući dobar i trajan namještaj s prepoznatljivim oznakama kvalitete. Kvalitete koja je temelj korisniku za izbor namještaja kakav želi. Taj pristup donio je Laboratoriju za ispitivanje namještaja pri Šumarskom fakultetu međunarodno priznavanje i nacionalno ovlaštenje te članstvo u domaćim i međunarodnim asocijacijama, kao i usku suradnju s njemačkim Institutom LGA. Laboratorij je član udruge hrvatskih laboratorija CROLAB čiji je cilj udruživanje hrvatskih ispitnih, mjeriteljskih i analitičkih laboratorija u interesu unaprjeđenja sustava kvalitete laboratorija te lakšeg pridruživanja europskom tržištu korištenjem zajedničkih potencijala, dok je Šumarski fakultet punopravni član udruženja INNOVAWOOD kojemu je cilj doprinijeti poslovnim uspjesima u šumarstvu, drvenoj industriji i industriji namještaja s naglaskom na povećanje konkurentnosti europske industrije.

Istraživanje kreveta i spavanja, istraživanja dječjih kreveta, optimalne konstrukcije stolova, stolica i korpurnog namještaja, zdravog i udobnog sjedenja u školi, uredu i kod kuće neka su od brojnih istraživanja provedena u Zavodu za namještaj i drvene proizvode, kojima je obogaćena riznica znanja o kvaliteti namještaja.

Dobra suradnja s proizvođačima, uvoznicima i distributerima namještaja čini nas prepoznatljivim.

## Znanje je naš kapital



LGA



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
ŠUMARSKI FAKULTET  
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVNE PROIZVODE  
HR-10002 ZAGREB

Svetošimunska 25, p.p. 422  
Tel.: 385 (0)1/235 2454  
Fax: 385 (0)1/235 2431  
e-mail: info@sumfak.hr  
[www.sumfak.hr](http://www.sumfak.hr)

# Impact of Resin Content on Swelling Pressure of Three Layer Particleboard Bonded with Urea-Formaldehyde Adhesive

## Utjecaj sadržaja smole na tlak bubrenja troslojne ploče iverice vezane urea-formaldehidnim ljepilom

### Original scientific paper • Izvorni znanstveni rad

Received – prispjelo: 27. 7. 2010.

Accepted – prihvaćeno: 25. 2. 2011.

UDK: 630\*863.21

doi:10.5552/drind.2011.1025

**ABSTRACT** • When particleboards are exposed to water or moist environment, they tend to swell and expand in all directions. The degree of swelling or expansion depends on the type of adhesive used, its share, and the time of exposure and pressure used at hot pressing. The expansion of particleboard, exposed to water or high moisture content, is accompanied by swelling and/or expansion pressure. The purpose of this paper is to present the impact of adhesive share on thickness swelling and swelling pressure of three layer particleboard bonded with urea-formaldehyde adhesive. The resin content was altered in both layers; in core layer it was between 6 and 9 %, and in surface layer between 11 and 13 %. Thickness swelling and swelling pressure were determined with 24-hour immersion test. For the swelling pressure measurement, special force gauge device was used. The biggest changes in swelling and pressure were observed when the resin content was changed in core layer. The fastest change in swelling and swelling pressure was observed in the first few hours after immersion in water.

**Keywords:** particleboards, resin content, swelling, swelling pressure

**SAŽETAK** • Ploče iverice teže bubrenju i povećanju dimenzija u svim smjerovima kada su izložene vodi ili vlažnom okruženju. Stupanj bubrenja ili povećanja ovisi o vrsti korištenog ljepila, njegovu udjelu te vremenu izlaganja i korištenom tlaku pri vrućem prešanju. Uz povećanje dimenzija ploča iverica izloženih vodi ili visokom sadržaju vlage javlja se i bubrenje i/ili povećanje tlaka. Svrha ovog rada jest prikazati utjecaj udjela ljepila na bubrenje u debljinu i tlak bubrenja troslojnih ploča iverica vezanih urea-formaldehidnom smolom. Sadržaj UF smole u oba je sloja promijenjen; u srednjem sloju bio je 6-9 %, a u vanjskom sloju 11-13 %. Bubrenje u debljinu i tlak bubrenja određeni su testom uranjanja tijekom 24 sata. Za mjerenje tlaka bubrenja upotrijebljen je uređaj za određivanje specifične sile. Najveće promjene u bubrenju i tlaku zabilježene su pri promjeni sadržaja smole u vanjskom sloju ploča iverica. Nadalje, najveće promjene pri bubrenju i tlaku bubrenja zabilježene su tijekom prvih nekoliko sati nakon uranjanja u vodu.

**Ključne riječi:** ploča iverica, sadržaj smole, bubrenje, tlak bubrenja

<sup>1</sup> The author is assistant professor at Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia. <sup>2</sup> The authors are assistant professor and associate professor at Department of Wood Technology, Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

<sup>1</sup> Autor je docent Biotehničkog fakulteta Sveučilišta u Ljubljani, Slovenija. <sup>2</sup> Autori su, redom, docent i izvanredni profesor Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska.

## 1 INTRODUCTION

### 1. UVOD

Particleboards are an important segment of the wood-based industry, especially in furniture industry. Their production and consumption increases from year to year. However, the use of particleboards in a humid environment, especially those bonded with urea-formaldehyde (UF) adhesive, is often limited, because of its hygroscopic nature, caused by wood (reversible swelling), pressing conditions (irreversible swelling) and also by adhesive used. This undesirable phenomenon is estimated by means of factors such as thickness swelling and water absorption. These factors are not the only changes that occur due to wood-water interaction. The interaction between water (moisture) and particleboard wood leads to the development of swelling stresses that cause the "separation" of the particles within the panel and hence the failure of the resin bond between particles.

According to Klauditz (1956) the thickness swelling is caused by pressed particles (wood) that tend to return to their position prior to pressing.

Tarkov and Turner (1958) determined that swelling stresses occur when water vapour diffuses into cell walls and micro. They determined that when compressed wood, conditioned to 30% relative humidity, is exposed to a saturated environment (room temperature), the swelling pressure increases with the increasing densification of the wood.

Perkitny and Helinska (1963) investigated the development and relaxation of stresses in wood. They determined that swelling was almost 40% greater when wood was exposed to water vapour compared to the results achieved when wood was immersed in water.

Stegmann and Kratz (1967) research the impact of density and resin content on thickness swelling of UF bonded particleboard. They determined that thickness swelling increased with increasing density, while it decreases with increasing resin content. They also determined that changes in density influences thickness swelling more than changes in resin content.

When solid wood or wood-based panels are exposed to water, moisture gain can occur, primarily, by two mechanisms. The first mechanism is liquid water transport, which is generally described by Darcy's law directly or indirectly. The second mechanism is diffusion (Fick's law). Diffusion normally occurs where the void spaces are small. When water vapour diffuses into cell wall and micro voids, it causes the movement or dislocation of tissue-fibre, which causes the development of swelling pressure (Skaar, 1988).

Niemz and Steinmetzler (1992) researched the impact of density and thickness swelling on swelling stress. They determined that swelling stress increased with increasing thickness swelling, which was more evident with boards with higher density.

Schneider *et al* (1996) researched the relationship between swelling and the type of resin used and resin content. They determined that thickness swelling and water absorption decreased with increasing resin content.

Swelling stresses depend upon the swelling itself, and upon the density of the material. Increase in swelling stresses with increasing swelling is more evident when dense materials are used (Niemz and Steinmetzler, 1992).

The influencing factors were also discussed by Jambreković (1996) and Jambreković *et al.* (1998). It was determined that increased share of wax emulsion decreases thickness swelling.

In the case of wood-based panels exposed to liquid water and/or water vapour, failure of the resin bond occurs mainly due to the development of swelling stresses (Rice and Wang, 2002). These authors researched the development of swelling stresses using a non-destructive method (measurements of acoustic emission). They found that the failure of the resin bond and the dislocation of fibres are accompanied by acoustic emission. The number of acoustic emission events depended on the resin content and the amount of wax emulsion. In the case of particleboard, the authors discovered that the number of acoustic emission events is higher in the case of higher resin content, whereas in the case of MDF they noticed a higher number of acoustic emission events in the case of lower resin content. Such results are, according to the authors, the effect of different quantities of micro voids where moisture could penetrate and cause swelling and the development of swelling stresses. The authors also determined that the number of acoustic emission events decreases with an increasing amount of wax emulsion in the board.

According to the literature, thickness swelling and swelling stresses depend on the type of adhesive used, its content and the time of immersion in water or exposure to moisture. This paper presents the impact of the change in resin content in different layers on the swelling stress and thickness swelling with three layer particleboard exposed to liquid water.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2. MATERIJALI I METODE

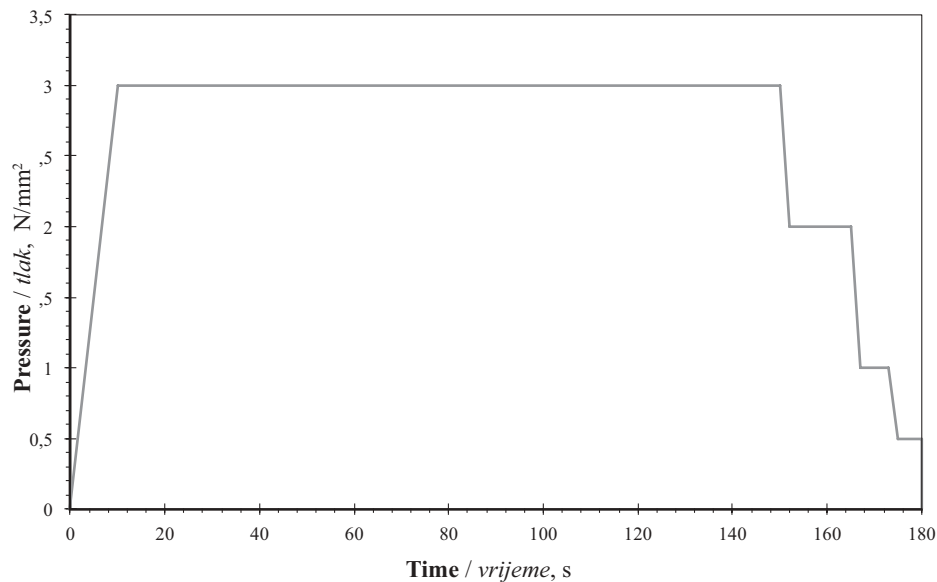
For the purpose of investigation, particleboards were made in laboratory conditions. Particles were obtained from industry, and they were made from 75% of softwood and 25% of hardwood. Screen analysis of particles is presented in Table 1.

For board preparation, 1028 g of particles (H=0%) for two surface layer and 1543 g for core layer were used. Particles were blended with urea-formaldehyde adhesive. The resin content of individual layer is presented in Table 2.

Wax emulsion<sup>1</sup> (2% in both layers) and hardener<sup>2</sup> (3% in core layer) were also added to the resin. As hardener ammonia sulphate with 20% solid content was used, while solid content of wax emulsion was 60%. Blended particles were pressed into 500×500 mm board. Particle mat was pressed at 180° C, 3 N/mm<sup>2</sup> for

<sup>1</sup> Solids based on dry wood / *Krute tvari na temelju suhog drva.*

<sup>2</sup> Solids based on solids of resin / *Krute tvari na temelju krute tvari smole.*



**Figure 1** Press schedule  
**Slika 1.** Dijagram prešanja

**Table 1** Screen analysis\* of particles with regard to the layer  
**Tablica 1.** Granulometrijska analiza iverja s obzirom na sloj

Mesh size opening in mm <i>Veličina otvora sita u mm</i>	Surface layer <i>Vanjski sloj</i> %	Core layer <i>Srednji sloj</i> %
< 0.237	19.19	1.00
0.237 - 0.600	43.03	2.96
0.600 - 1.000	27.60	3.17
1.000 - 1.270	7.69	3.99
1.270 - 1.500	1.57	8.49
1.500 - 2.000	0.20	15.72
2.000 - 4.000	/	25.67
4.000 - 6.140	/	24.54
> 6.140	/	14.46

\* Each mean is the result of three measurements of 100 g of particles for 10 minutes. / *Svaki je rezultat srednja vrijednost tri mjerenja na uzorku od 100 g u vremenu od 10 minuta.*

**Table 2** Resin content of individual layer with regard to the layer

**Tablica 2.** Sadržaj smole u pojedinom sloju

Type <i>Tip</i>	Resin content / <i>Sadržaj smole</i>	
	Surface layer <i>Vanjski sloj</i> %	Core layer <i>Srednji sloj</i> %
A	10.0	7.5
B	11.5	6.0
C	11.5	7.5
D	11.5	9.0
E	13.0	7.5

3 minutes. Press schedule is shown in Figure 1. For each type (variation) two boards were made. Nominal thickness of boards was 16 mm, with nominal density 0,65 g/cm<sup>3</sup> (dry state).

## 2.1 Measurement of swelling force

### 2.1. Mjerenje sile bubrenja

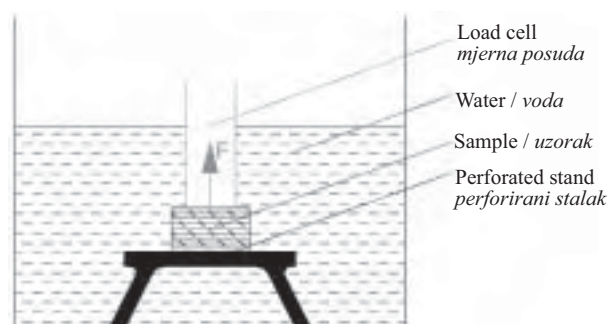
Measurements of swelling force were conducted on 8 samples/board (16 samples/type) with the force

gauge Wagner FDIX Force One, capable of measuring tensile and compression forces up to 1000 N at peak sampling rate up to 1000/sec.

For measuring the swelling force, 8 test samples 50×50 mm per board were used (16 test samples/type). The sample size was the same as for the determination of thickness swelling (according to EN 317). The samples were placed on a perforated stand, and a load (measuring) cell was brought near to the sample so that it just touched it, enabling the measurement of swelling pressure. The general arrangement of the test is shown in Figure 2.

After the load cell was placed in contact with the sample, 800 ml of distilled water with the pH value of 7 and the temperature of 20° C was poured into the bath and over the sample. The water level was kept at 25 mm above the sample, in order to minimize the effect of water pressure on the sample. Water could penetrate into the sample from all sides. The only closed surface was the surface that was in contact with the load cell (the surface of 133 mm<sup>2</sup>). The time of measurement was 24 h, the same as for thickness swelling.

Beside the swelling force, the thickness swelling of samples was also determined after the measurement finished (after 24 h).



**Figure 2** General arrangement of the test for measuring swelling pressure

**Slika 2.** Opći postupak testa za određivanje tlaka bubrenja



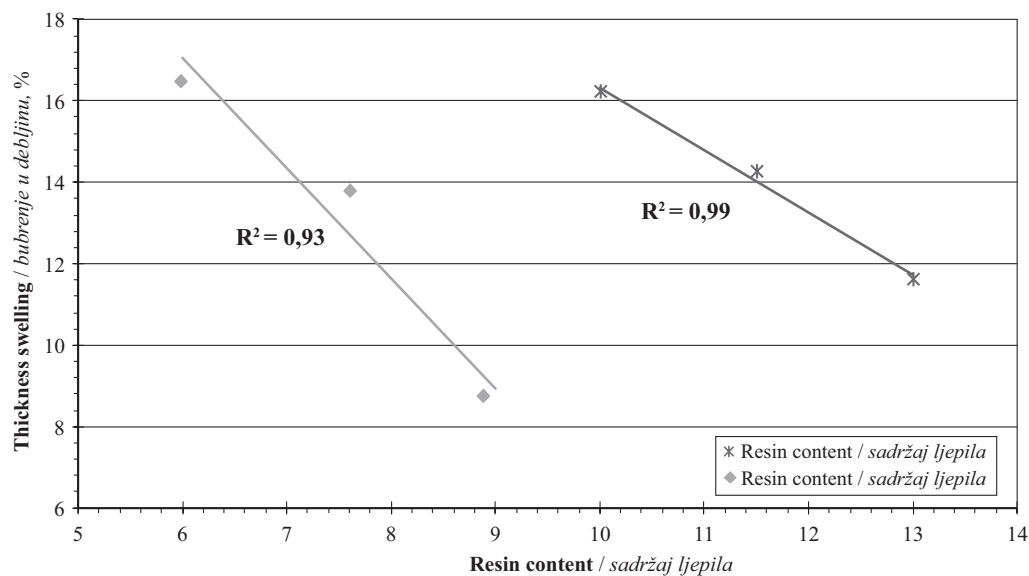


Figure 3 Thickness swelling with regard to the layer resin content\*\*

Slika 3. Bubrenje u debljinu ovisno o sadržaju smole u pojedinom sloju

\*\* For surface layer only values for board type A, C and E and for core layer only values for board type B, C and D are presented. Chosen values are presented because at board type A, C and E the resin content in core layer was held constant (7.5%), and at board type B, C and D the surface layer resin content was constant (11.5%). / Za vanjski sloj predstavljeni su rezultati za tipove ploča A, C i D, a za srednji sloj tipovi ploča B, C i D. Predstavljene su izabrane vrijednosti zbog toga jer je kod tipova ploča A, C i E sadržaj smole u srednjom sloju jednak (7.5%), a kod tipova ploča B, C i D je sadržaj smole u vanjskom sloju jednak (11.5%).

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

The density of laboratory made boards is shown in Table 3.

It can be seen that there is a minimum density variation between the board types, and hence it can be said that this variation had no influence on the results of thickness swelling and swelling force. The thickness swelling was influenced by the resin content, as shown in Table 4.

As shown in Table 3, there are differences in thickness swelling, with regard to the resin content in individual layers. Thickness swelling decreases with increasing resin content. The greatest change was achieved when the resin content was changed in the core layer (Figure 3).

Similar correlation with regard to resin content, as shown in Table 4 and Figure 3, was also observed with values for swelling forces (Table 5).

Table 3 Density of laboratory made boards with regard to the resin content

Tablica 3. Gustoća laboratorijski izrađenih ploča ovisno o sadržaju smole

Type Tip	Resin content Sadržaj smole		Density Gustoća	Thickness Debljina
	Surface layer Vanjski sloj %	Core layer Srednji sloj %		
A	10.0	7.5	0.703	16.25
B	11.5	6.0	0.704	16.23
C	11.5	7.5	0.703	16.30
D	11.5	9.0	0.702	16.27
E	13.0	7.5	0.703	16.28

Table 4 Thickness swelling, with regard to the resin content

Tablica 4. Bubrenje u debljinu ovisno o sadržaju smole

Type Tip	Resin content / Sadržaj smole		Thickness swelling*** Bubrenje u debljinu
	Surface layer Vanjski sloj %	Core layer Srednji sloj %	
A	10.0	7.5	16,12 (1,120)
B	11.5	6.0	16,43 (1,757)
C	11.5	7.5	14,24 (1,957)
D	11.5	9.0	8,31 (1,070)
E	13.0	7.5	11,62 (1,455)

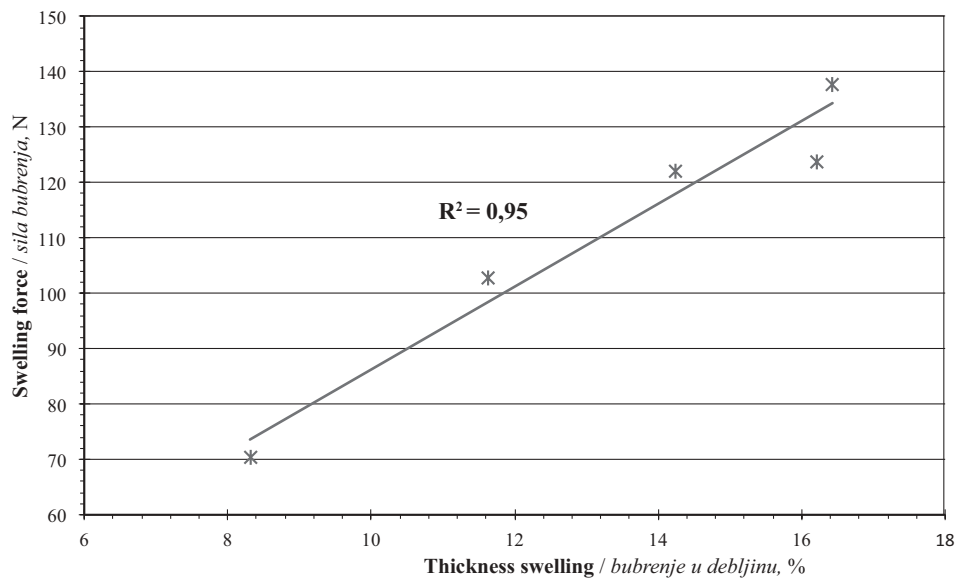
\*\*\* Values presented are average values for 16 samples. Values in brackets are the values of standard deviation. / Prikazani rezultati su srednje vrijednosti za 16 uzoraka. Vrijednosti u zagradama su vrijednosti standardne devijacije.

The lowest swelling force was observed on board D (SL<sup>3</sup> resin content 11.5% and CL<sup>4</sup> 9.0%), while the highest on board B (SL resin content 11.5 and CL 6.0%). A correlation was also observed between thickness swelling and swelling force (Figure 4).

With increasing swelling there is also the increase in swelling force. When manufacturing particleboards, the pressure and temperature during the pressing process are high, and they cause severe compression of wood cells. After coming into contact with water, the first stage of swelling occurs, due to wood swelling (reversible swelling). Due to the presence of water, the

<sup>3</sup> Surface layer / Vanjski sloj

<sup>4</sup> Core layer / Srednji sloj



**Figure 4** Correlation between thickness swelling and swelling force  
**Slika 4.** Korelacija između bubrenja u debljinu i sile bubrenja

**Table 5** Swelling force with regard to the resin content  
**Tablica 5.** Sila bubrenja ovisno o sadržaju smole

Type Tip	Resin content / Sadržaj smole		Swelling force**** Sila bubrenja N
	Surface layer Vanjski sloj %	Core layer Srednji sloj %	
A	10.0	7.5	124 (9,989)
B	11.5	6.0	138 (11,540)
C	11.5	7.5	122 (10,212)
D	11.5	9.0	70 (7,312)
E	13.0	7.5	103 (7,359)

\*\*\*\* Values presented are average values for 16 samples. Values in brackets are the values of standard deviation. / Prikazani rezultati su srednje vrijednosti za 16 uzoraka. Vrijednosti u zagradama su vrijednosti standardne devijacije.

second stage of swelling occurs by regaining the original shape of particles (irreversible swelling). This irreversible swelling is caused by high pressure and temperature during the pressing process, and the compression and crushing of wood cells. Since the mass of wood in the board is almost the same for all board types, the higher or lower thickness swelling and swelling force is more related to the resin content and relaxation of stresses (irreversible swelling).

As shown in Figure 3, the greatest decrease in swelling force was determined when the resin content was changed in the core layer. Since the correlation was established between thickness swelling and swelling force (Figure 4), similar correlation can be expected between resin content and swelling force (Figure 5).

Again, it can be seen that changes in resin content in the core layer cause bigger change in swelling force than in resin content in the surface layer.

Thickness swelling, water absorption and swelling stress are also related to the porosity of the board

especially in the core layer. Higher porosity, more free space between particles, enables faster penetration of water between particles. Since the resin does not cover the entire particle surface and its penetration is small, water can easily penetrate into the particles. Easy penetration of water into micro voids and micro fractures results in greater thickness swelling and a higher swelling stress.

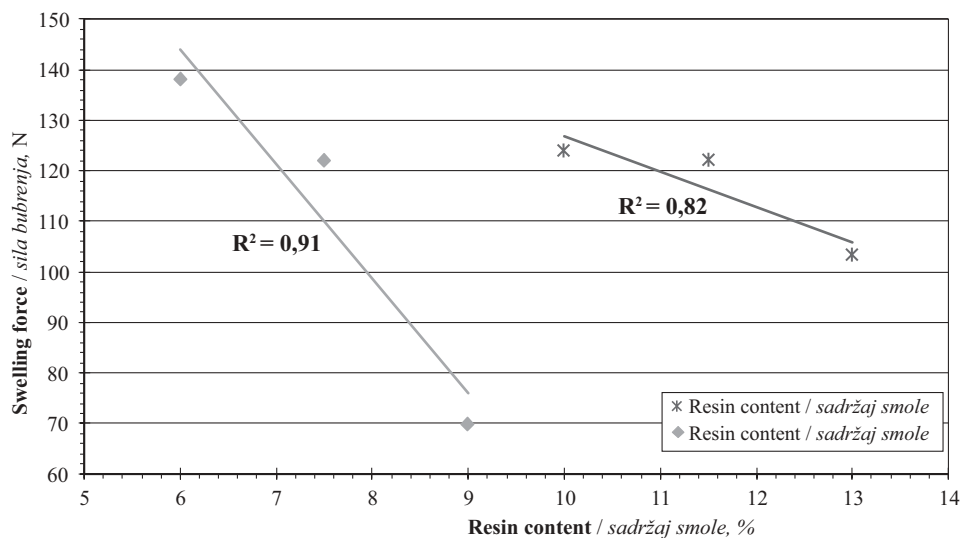
Higher thickness swelling and swelling force, when the resin content in CL is 6% (resin content in SL 11.5%) is not only related to wood particles but also to the resin. As mentioned above, the resin does not entirely cover the particles (also determined by Medved et al., 2004 and Medved et al. 2010), and hence water can easily penetrate into wood particles. Due to the presence of water, particles tend to regain the position prior to pressing. They tend to flatten out, while in the board they are in a sort of curved shape. The adhesive is a “barrier” that helps to minimize the impact of water or moisture and it has to create a bond between particles. However, the bond created between particles does not guarantee low thickness swelling and hence lower swelling stresses. To withstand the stresses released due to the water, the bond between particles has to be strong. It has to withstand high tensile and shear forces that are created by the displacement of wood. The displacement of wood is caused by penetration of water. The stronger the bond between particles, less thickness swelling can be expected.

## 4 CONCLUSIONS

### 4. ZAKLJUČCI

It was determined in the research presented in this paper that there is a correlation between thickness swelling, swelling force and resin content in individual layer.

It was determined that with increasing thickness swelling, the increase in swelling force is also to be expected.



**Figure 5** Swelling force with regard to the layer resin content\*\*

**Slika 5.** Sila bubrenja ovisno o sadržaju smole u pojedinom sloju

\*\* For surface layer only values for board type A, C and E and for core layer only values for board type B, C and D are presented. Chosen values are presented because at board type A, C and E the resin content in core layer was held constant (7.5%), and at board type B, C and D the surface layer resin content was constant (11.5%). / Za vanjski sloj predstavljeni su rezultati za tipove ploča A, C i D, a za srednji sloj tipovi ploča B, C i D. Predstavljene su izabrane vrijednosti zbog toga jer je kod tipova ploča A, C i E sadržaj smole u srednjom sloju jednak (7.5%), a kod tipova ploča B, C i D je sadržaj smole u vanjskom sloju jednak (11.5%).

Higher thickness swelling and swelling force was observed on the board with low resin content in the core layer. It can be concluded that the condition of the core layer (resin content) has higher impact on thickness swelling than changes of resin content in the surface layer.

## 5 REFERENCES

### 5. LITERATURA

- Haligan, A. F., 1970: A review of Thickness Swelling in Particleboard. *Wood Science and Tehnology*, 4 (4): 301 – 312. doi:10.1007/BF00386406
- Haligan, A. F.; Schniewind, A. P., 1972: Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. *Forest Product Journal*, 22 (4): 41 – 48.
- Jambreković, V. 1996: Utjecaj međudjelovanja karbamid-formaldehidne smole i parafinske emulzije na kakvoću ploča iverica. *Drvena industrija*, 47 (4): 131-141.
- Jambreković, V.; Brezović, M.; Bruči, V. 1998: Međuovisnost fizikalnih svojstava ploča iverica tipa V20 izrađenih s različitim vrstama i količinama hidrofobnih sredstava. *Drvena industrija*, 49 (1): 21-30.
- May, H. A., 1978: Zur Optimierung der Herstellungsbedingungen phenolharzverleimter Spanplatten. Teil 1: Untersuchung einiger, die Beileimungsgüte beeinflussender Faktoren. *Holz Roh – Werkstoff*, 36: 441 – 449. doi:10.1007/BF02607687
- Medved, S.; Resnik, J., 2004: Influence of particle size on the surface covered with adhesive at particles from beech wood. *Wood research*, 49 (1): 33 – 40.

- Medved, S.; Resnik, J. 2010: Determination of share of adhesive on particles with FT-IR spectroscopy. *Wood research*, 55 (1): 101-109.
- Medved, S.; Šernek, M.; Šega, B., 2006: Thickness swelling and swelling pressure of wood-based panels. *Cost Action E44-E49 Conference in Valencia on Wood resources and panel properties*.
- Rice, R. W.; Wang, C., 2002: Assessing the effect of swelling pressures in particleboard and acoustic emission technology. *Wood and Fiber Science*, 34 (4): 577 – 586.
- Scheider, M. H.; Chui, Y. C.; Ganey, S. B., 1992: Properties of particleboard made with polyfurfuryl – alcohol/urea – formaldehyde adhesive. *Forest Products Journal*, 46(9): 79 – 83.
- Suchsland, O.; Danping, X. 1992: Determination of swelling stresses in wood – based materials. *Forest Products Journal*, 42(5): 25 – 27.
- Tarkov, H.; Turner, H. D., 1958: The swelling pressure of wood. *Forest Products Journal*, 8(7): 193 – 197.
- \*\*\* EN 317. Particleboard and fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. 1993: 5 p.

### Corresponding address:

Assist. Prof. SERGEJ MEDVED, Ph.D.

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty  
 Department of Wood Science and Technology  
 Rožna dolina, C. VIII/34  
 SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
 e-mail: sergej.medved@bf.uni-lj.si

Marcin Zbieć<sup>1</sup>

# Application of Neural Network in Simple Tool Wear Monitoring and Identification System in MDF Milling

## Primjena neuronske mreže za jednostavne sustave praćenja i prepoznavanja trošenja alata pri glodanju MDF ploča

**Preliminary paper • Prethodno priopćenje**

*Received – prispjelo: 28. 6. 2010.*

*Accepted – prihvaćeno: 25. 2. 2011.*

*UDK: 630\*823.11*

*doi:10.5552/drind.2011.1020*

**ABSTRACT •** *This paper deals with simple neural network-based diagnostic system, applied to tool wear prediction in MDF milling. Ten tools were used for the test, and each one was consequently worn in the process of MDF milling. During the wearing process, the key process parameters were measured, such as cutting and thrust forces, temperature and power consumption. The neural network-based system was used for tool wear prediction of all the tools except the first one, based on data collected during the previous attempts. The test has shown that the proposed system has good prediction accuracy and that it could be a useful tool in the optimization of the woodworking process.*

**Keywords:** *tool wear, wood machining monitoring, tool condition diagnostic system*

**SAŽETAK •** *U radu se opisuje primjena neuronskih mreža za jednostavan dijagnostički sustav kojim se predviđa trošenje alata pri glodanju MDF (Medium Density Fiberboard) ploča. Za test je uporabljeno deset alata koji su radi istraživanja zatupljivani glodanjem MDF ploča. Tijekom procesa trošenja alata mjereni su temeljni parametri procesa glodanja kao što su sila rezanja i odzivna sila, temperatura i angažirana snaga. Sustav utemeljen na neuronskoj mreži primijenjen je za predviđanje stadija zatupljenosti svih alata osim prvoga, na osnovi podataka dobivenih mjerenjima na prethodnim alatima. Istraživanje je pokazalo da predloženi sustav ima dobru točnost predviđanja i mogao bi biti dobar alat za optimiziranje procesa obrade drva.*

**Ključne riječi:** *trošenje alata, praćenje obrade drva, sustav za dijagnostiku stanja alata*

<sup>1</sup> Author is assistant at Faculty of Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland.

<sup>1</sup> Autor je asistent Fakulteta drvne tehnologije Varšavskog sveučilišta bioloških znanosti, Varšava, Poljska.

## 1 INTRODUCTION

### 1. UVOD

One of the most significant problems of contemporary woodworking is the improvement of the cutting process without sacrificing the quality, which is often degraded by application of blunt or improper tooling. Real-time diagnostic of tool wear should allow more control of the whole machining process by eliminating the production spoilage caused by worn or catastrophically crashed tools. Real-time tool wear and breakage monitoring are based on various measurable factors related to the cutting process, such as cutting and normal forces, machined surface temperature, work power demand and feed mechanisms and acoustic emission related to cutting and material fracture. Key dependencies are presented in Figure 1 (Peklenik and Jerele, 1992)

AI system based on the neural network seems to be the simplest working solution for tool wear prediction. Artificial neural networks allow rejection of regular, time consuming statistical and mathematical analysis. Self learning, trend prediction and generalization properties can replace an experienced machine operator and complex analysis made with traditional methods (Gawlik, 1997).

The objective of this paper is to determine whether AI system based on simple MLP neural network is suitable for identifying tool wear in MDF milling. Industrial methods of predicting tool lifetime based on tool manufacturers' specifications or self-experience are highly inaccurate (Chryssolouris and Guillot, 1990). The application of AI-based tool wear monitoring system could greatly increase the production efficiency and therefore cause significant economic benefits.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2. MATERIJALI I METODE

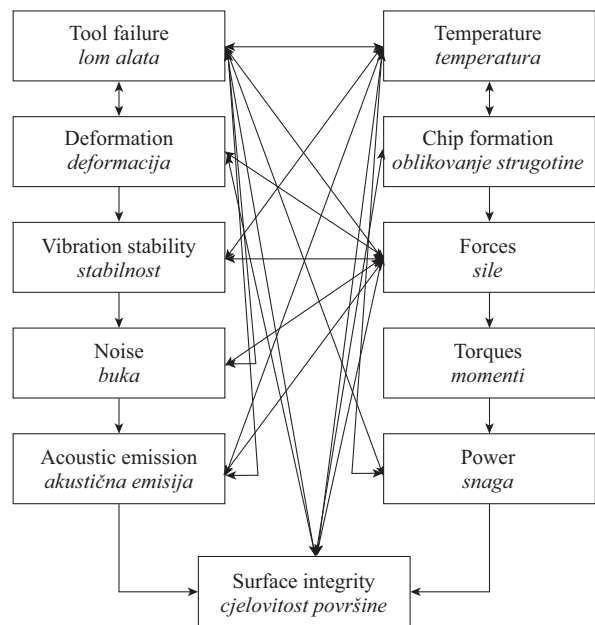
#### 2.1 Methods

##### 2.1. Metode rada

This paper is aimed at presenting the actual possibility of application of the tool condition monitoring system in milling of wood-based materials. One of the basic assumptions was to enable a comprehensive identification of tool wear without having to stop the machine and without optical or mechanical measurements of any kind. The whole process was to be done by real-time measurement of various factors of the milling process in the period from sharp to blunt cutting tools. The measured factors were as follows:

- Cutting force
- Normal (thrust) force,
- Machined surface temperature,
- Vibration of working spindle,
- Vibration of working table,
- Work unit power consumption,
- Feed unit power consumption.

The basic cutting method is presented in the form of diagram in Figure 2:



**Figure 1** Example of dependencies in a complex cutting process

**Slika 1.** Shematski prikaz ovisnosti u složenom sustavu rezanja drva

Tool wear parameter was determined as a simple edge recession measured on the rake face (RR), as a parameter simple to measure and linearly conforming to the number of other parameters (McKenzie and Sheikh-Ahmad, 1997; Fisher, 1997).

Tests were performed with standard GP-01 FABA cutterhead equipped with HSS cutters. The number of working head cutters, in laboratory conditions, was limited to 1, for easier tool wear identification.

Milling parameters were set to values similar to industry standard values in edging of the boards before finishing:

- average chip thickness  $g = 0.3$  mm,
- tool rotational speed  $n = 3000$  rot/min,
- tool diameter  $D = 160$  mm,
- number of working head cutters  $z = 1$ ,
- cutting depth  $h = 4$  mm,
- feed speed  $u = 6.0$  m/min.

#### 2.2 Experimental stand

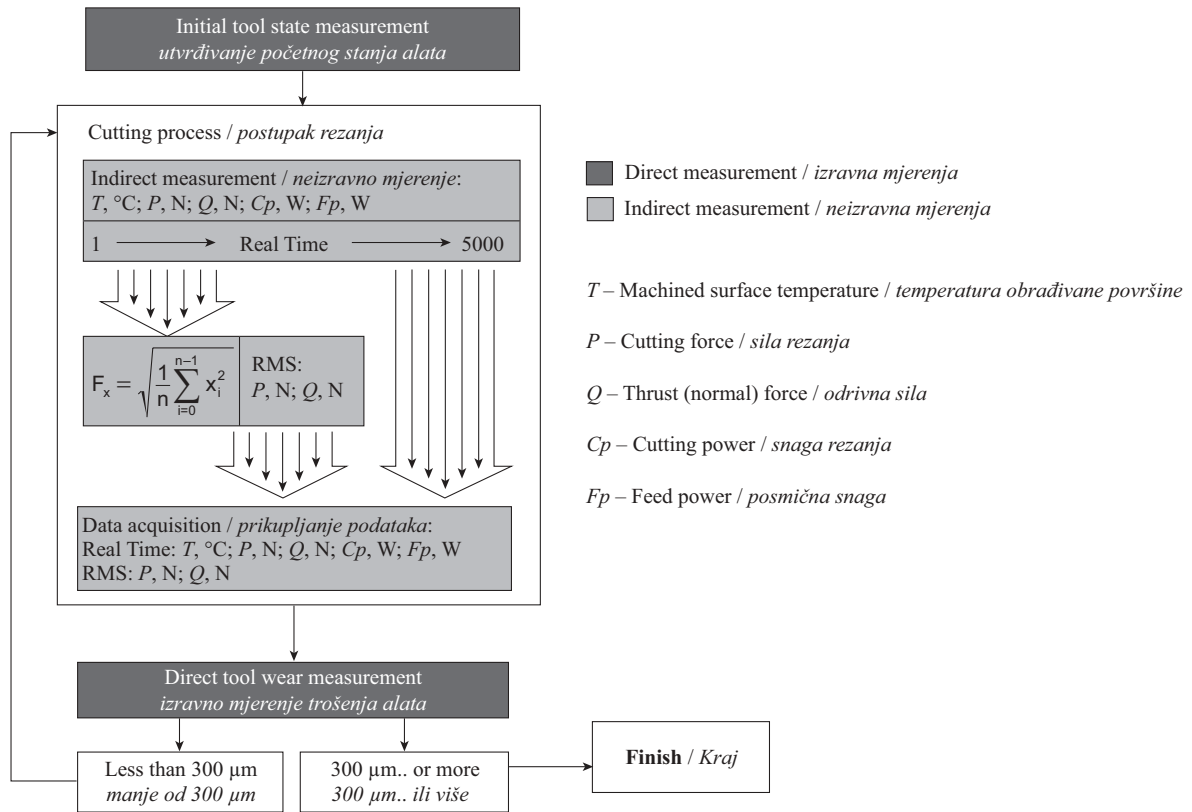
##### 2.2. Stroj za provedbu eksperimenta

The test was performed on a special stand designated for diagnostics of the milling process, whose working principle is presented in Figure 4.

The constructed experimental stand is presented in Figure 5.

The experimental stand is based on the „Gomad” FP tenoner, modified with mechanical feed in place of the circular saw module. Three-phase power inverter was used for controlling feed module power workbench with chain-chainwheel mechanism.

The workbench has a measuring platform equipped with XY piezoelectric force sensors. Independently, the tenoner has a laboratory pyrometer for measuring the machine surface temperature. Working spindle and feed motors are connected to a laboratory three-



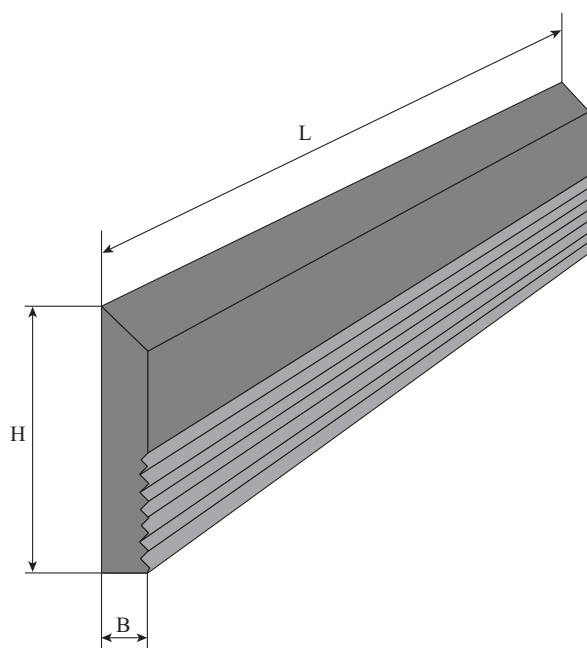
**Figure 2** Test method for the assessment of milling  
**Slika 2.** Shematski prikaz metode istraživanja glodanja

phase dual channel wattmeter for measuring the cutting and feed power consumption.

The signals of piezoelectric force sensors, pyrometer and wattmeter are sent through crossover to the amplifier into data acquisition system. Vibration signals were measured with external Bruel&Kjaer spectrum analyzer.

The measured values were collected by data acquisition system with the aim of feeding them afterwards into neural network tool wear diagnosis system.

Fig. 6 shows the sample measurement of a 1/2 meter cutting sample machined with sharp tool, and Fig. 7

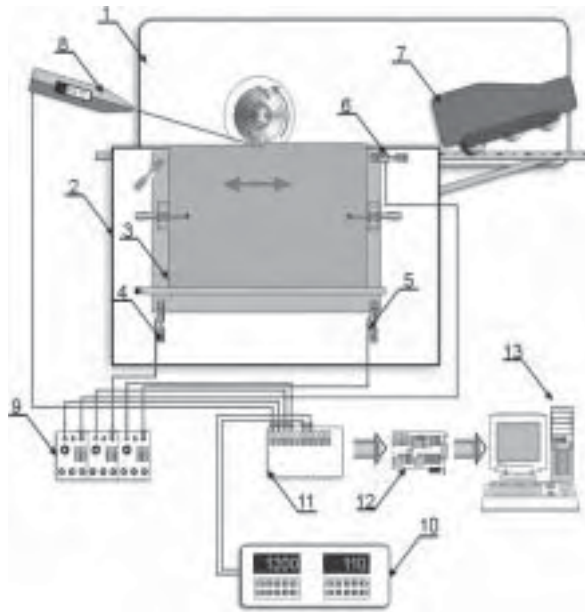


L = 40 mm, B = 8 mm, H = 50 mm

**Figure 3** Cutter used for the test, cutterhead on the tool wear measuring stand

**Slika 3.** Upotrijebljeni nož za glodanje, glava za glodanje i sustav za mjerenje zatupljenosti oštrice alata





- 1 – Chassis / postolje
- 2 – Workbench / radni stol
- 3 – Workpiece / obradak
- 4, 5 – Thrust force sensors / senzori za odzivnu silu
- 6 – Cutting force sensor / senzori za silu rezanja
- 7 – Feed mechanism / mehanizam za posmično gibanje
- 8 – Pyrometer / pirometar
- 9 – Capacitive bridge / charge amplifier / pojačalo
- 10 – Wattmeter / vatmetar
- 11 – Crossover / primanje signala
- 12 – A/D card / A/D kartica
- 13 – Data acquisition system / sustav za prikupljanje podataka

**Figure 4** Experimental stand diagram  
**Slika 4.** Shematski prikaz provedbe eksperimenta



**Figure 5** Experimental stand  
**Slika 5.** Stroj na kojemu je proveden eksperiment

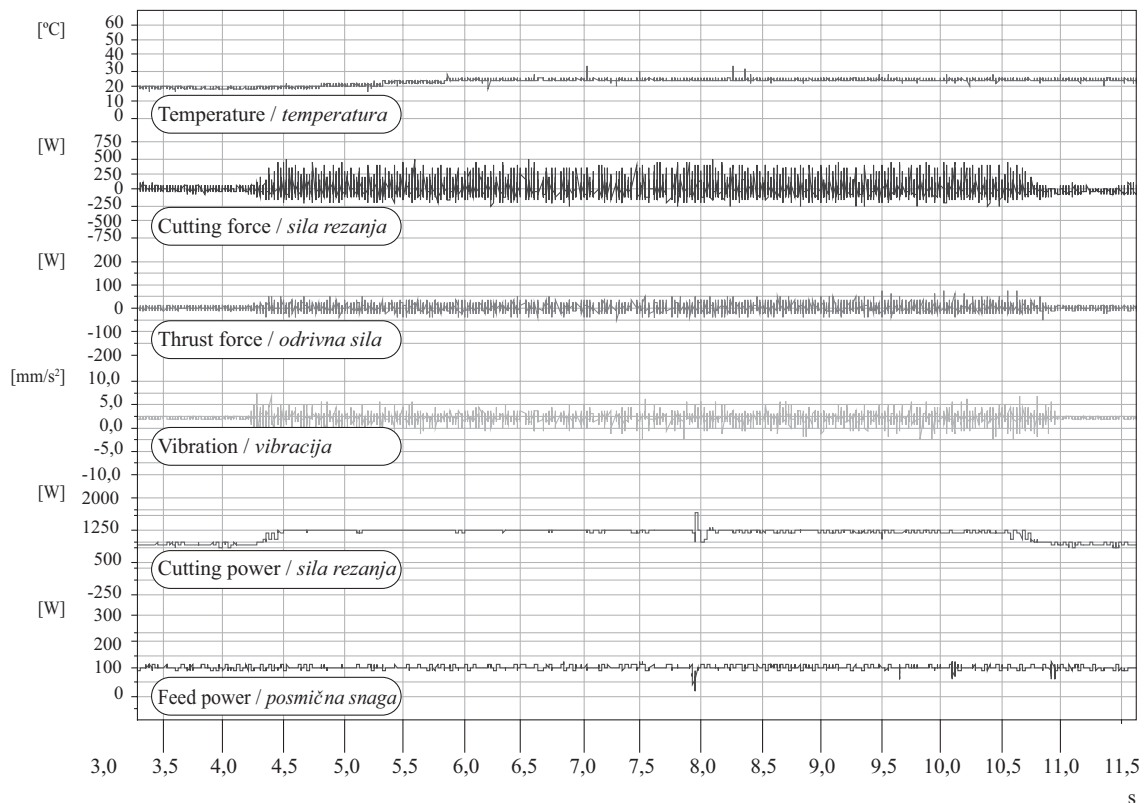
shows the measurement with the tool of 300  $\mu\text{m}$  edge recession.

All force channels were additionally connected through the module converting the values immediately into root mean square averages.

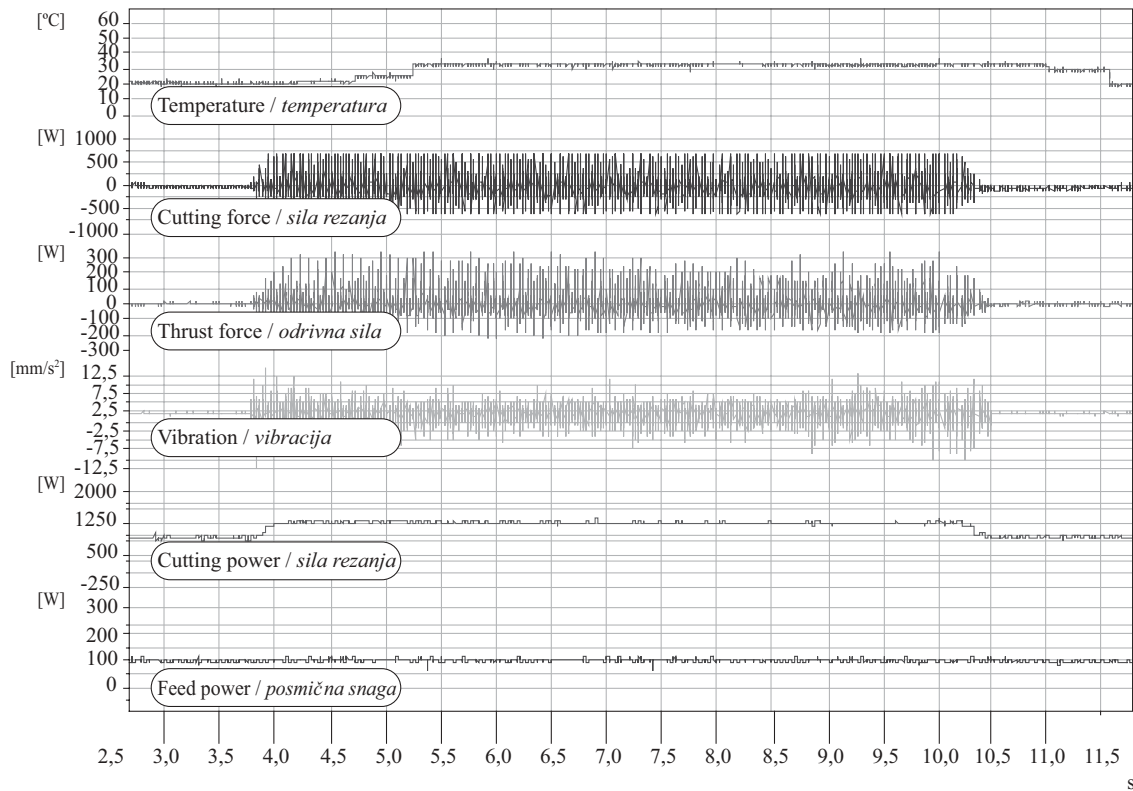
### 2.3 Neural network model

#### 2.3. Model neuronske mreže

Commercial systems for tool wear identification are based on a single measured parameter, for example working motor power consumption, without AI incorporation (Li, 2001; Chryssolouris, 1990). This approach, however, can only be used with the well known tool and stable parameters of machined material. Most successful applications use force signals for tool condition monitoring (Byrne, 1995; Sick, 1997; Stein, 1991).



**Figure 6** Sample measurement with sharp tool  
**Slika 6.** Primjer mjernih signala za oštri alat



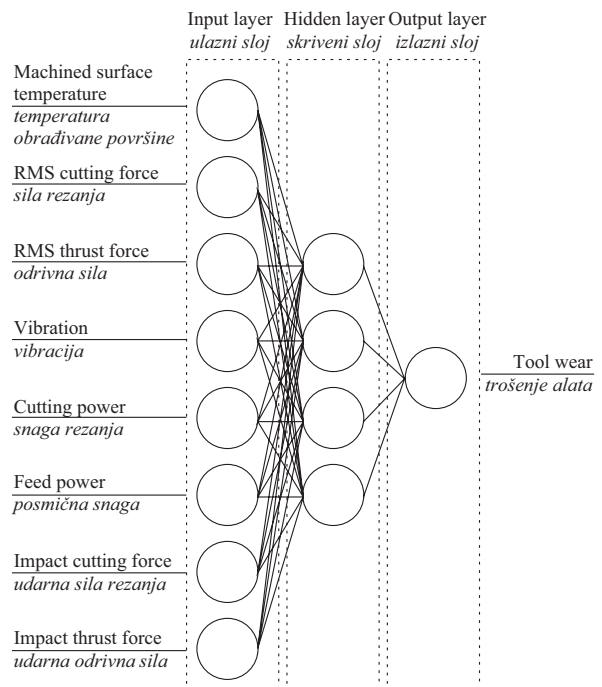
**Figure 7** Sample measurement with worn (300 µm edge recession) tool  
**Slika 7.** Primjer mjernih signala za zatupljeni alat (zaobljenost oštrice 300 µm)

According to literature (Bratkowski, 2001; Teshima, 1993), three-layer neural network is sufficient for the estimation of tool lifetime based on cutting process parameters. Network, however, should be provided with error back propagation algorithm. Some more advanced types as Time Delay Neural Networks may give better results (Sick, 1997; Sick, 1998), but in case of use of pre-processed data, regular MLP could be sufficient. After initial tests, it was observed that in this case an increasing number of neurons in the internal layer axon did not really change overall performance, so the simple model was used. The number of the input layer was based on the tested parameters quantity, and hidden layer neurons were set to four. Network concept is presented in Figure 8.

The presented model was built in Neurodimensions Neurosolutions environment, as a relatively simple Multi Layer Perceptron neural network, additionally equipped with the back propagation algorithm and components increasing learning performance (Tadeusiewicz, 1992-2002). This type of network proved to be successful in monitoring tool conditions in metal machining (Sick, 1997).

The meaning of numbers in Figure 9 is as follows:

- 1- File component reading data from the computer file system or a data stream.
- 2- Axon performing an identity map between its input and output activity.
- 3- Axon used for back propagation of data
- 4- Step component trying to find the bottom of a performance surface by taking steps in the direction estimated by the attached backprop component.

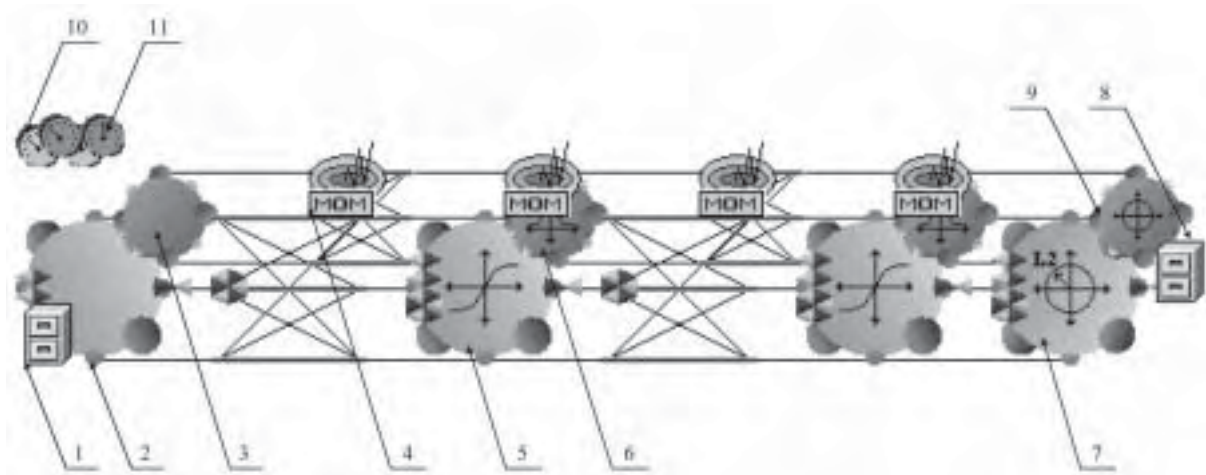


**Figure 8** Concept of the neural network model  
**Slika 8.** Koncept modela neuronske mreže

The Momentum provides the gradient descent with some inertia, so that it tends to move along a direction that is the average estimate for down.

- 5- TanhAxon applying a bias and tanh function to each neuron in the layer. This will squash the range of each neuron in the layer to between -1 and 1. Such nonlinear elements provide a network with the ability to make soft decisions.





**Figure 9** Neural network-based diagnostic system  
**Slika 9.** Dijagnostički sustav utemeljen na neuronskoj mreži

- 6- Back Linear Axon used for back propagation of data.
- 7- L2 Criterion implementing the quadratic cost function. The error reported to the supervised learning procedure is simply the squared Euclidean distance between the network output and the desired response.
- 8- File component writing data to the computer file system or a data stream.
- 9- BackCriteriaControl stacking on top of any member of the ErrorCriteria family, and communicating with the Backprop components to perform back propagation.
- 10, 11 - BackStaticControl component used in conjunction with the StaticControl component. Static back propagation assumes that the output of a network is strictly a function of its present input, the gradients and sensitivities are only dependent on the error and activations from the current time step.

In fact, the suggested multi-layer perceptron, being one of the simplest solutions, seemed to be quite sufficient for the averaged data. Extra possibilities provided by time delay neural networks that achieve high accuracy in fast changing processes would not improve the results of the average data. The number of neurons in the input layer was set in accordance with the number of tested factors – 8.

The internal layer consisted of only 4 neurons so as to simplify the model. Introductory tests on layers consisting of more neurons failed to show any visible improvement, but extended the learning time.

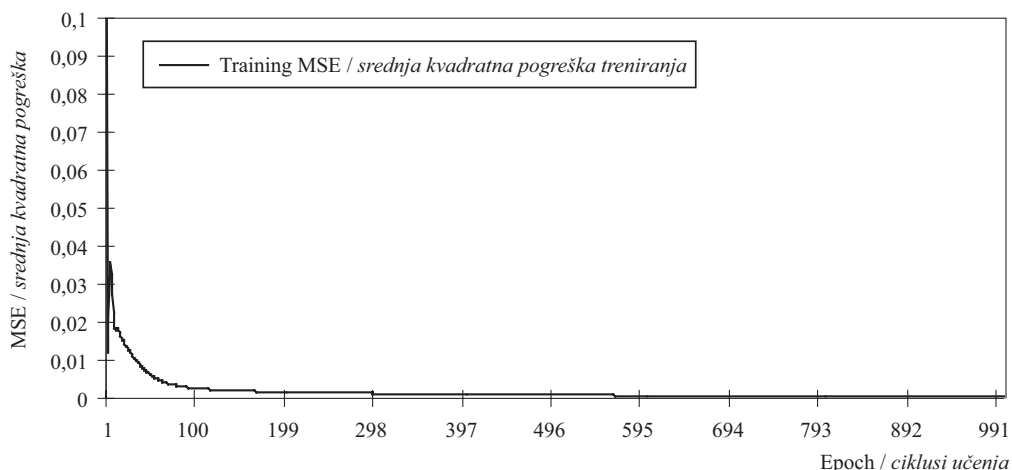
The network was trained with randomly picked data (supervised training with batch weight updates consisting of 1000 epochs). Training time took from 2 to 10 seconds depending on the amount of input data.

#### 2.4 Neural network tests

##### 2.4. Testiranje neuronske mreže

As mentioned above, neural network training was made in 1000 epochs randomly chosen from the previously obtained data. 10 tools were used in MDF milling (M1 to M10), and the whole idea was to test the network with a cascade method. M2 tool was tested against network trained with M1 tool data, M3 tool was tested with network fed with M1 and M2 tool data, and so forth, up to M10 tool tested with network trained with M1 to M9 data. Figures show sample dependence of number of epoch on mean square error of neural network training for M2 and M10 test

After training each sample from M2 to M10, the network was tested for accuracy on training data set. In

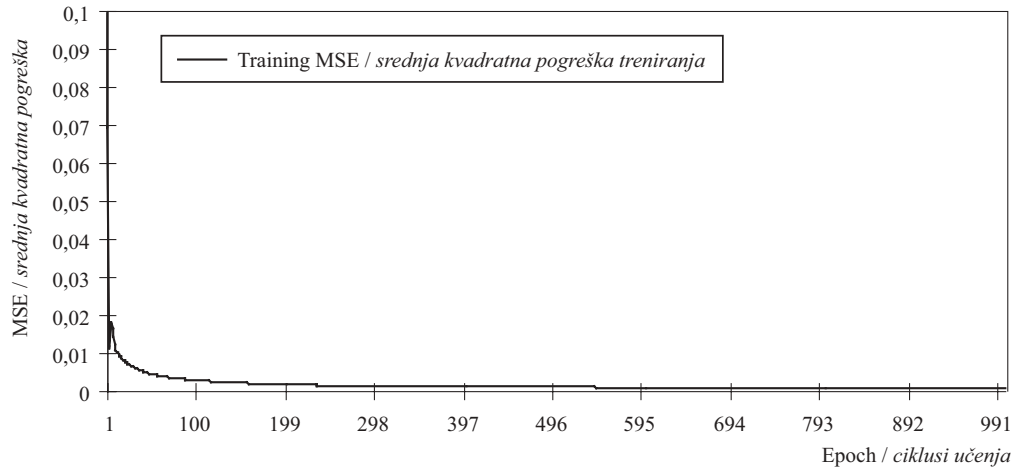


**Figure 10** Dependence of mean squared error (MSE) of neural network training for M2 test on number of epochs  
**Slika 10.** Ovisnost srednje kvadratne pogreške (MSE) treniranja neuronske mreže za test M2 o broju ciklusa učenja

**Table 1** M2 training MSE

**Tablica 1.** Srednja kvadratna pogreška treniranja mreže za M2 test

<b>Supervised Network Training Results / Rezultati treniranja mreže</b>	
Epoch number / Broj ciklusa učenja	1000
Minimum Mean Squared Error / Minimum srednje kvadratne pogreške	0.000416252
Final Mean Squared Error / Konačna vrijednost srednje kvadratne pogreške	0.000416252

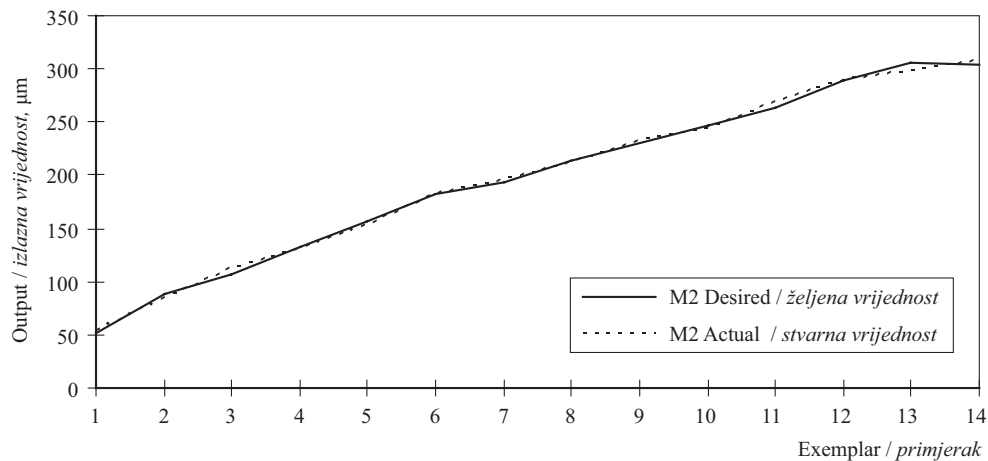


**Figure 11** Dependence of mean squared error (MSE) of neural network training for M10 test on number of epochs  
**Slika 11.** Ovisnost srednje kvadratne pogreške (MSE) treniranja neuronske mreže za test M10 o broju ciklusa učenja

**Table 2** M10 training MSE

**Tablica 2.** Srednja kvadratna pogreška treniranja mreže za M10 test

<b>Supervised Network Training Results / Rezultati treniranja mreže</b>	
Epoch number / Broj ciklusa učenja	1000
Minimum Mean Squared Error / Minimum srednje kvadratne pogreške	0.001148881
Final Mean Squared Error / Konačna vrijednost srednje kvadratne pogreške	0.001148881

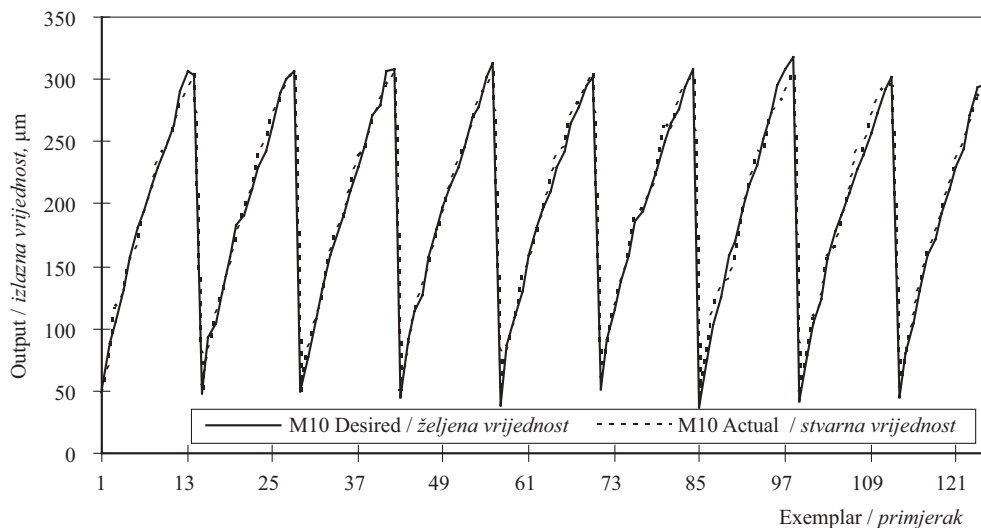


**Figure 12** M2 Desired and actual neural network output  
**Slika 12.** Očekivani i stvarni rezultat neuronske mreže za M2 test

**Table 3** M2 neural network performance

**Tablica 3.** Rezultat neuronske mreže za M2 test

<b>Performance / Rezultat</b>	<b>M2 tool wear / Trošenje alata M2</b>
Mean Squared Error / Srednja kvadratna pogreška	16.69577584
Normalized Mean Squared Error/Variance of desired output Normalizirana srednja kvadratna pogreška / varijanca očekivanog rezultata	0.002669916
Mean Absolute Error / Srednja apsolutna pogreška	3.503420055
Minimum Absolute Error / Minimalna apsolutna pogreška	0.056479288
Maximum Absolute Error / Maksimalna apsolutna pogreška	7.824272765
Linear Correlation Coefficient / Koeficijent linearne korelacije	0.998675442



**Figure 13** M10 Desired and actual neural network output  
**Slika 13.** Očekivani i stvarni rezultat neuronske mreže za M10 test

**Table 4** M10 neural network performance  
**Tablica 4.** Rezultat neuronske mreže za M10 test

Performance / Rezultat	M10 tool wear / Trošenje alata M10
Mean Squared Error / Srednja kvadratna pogreška	55.98576686
Normalized Mean Squared Error/Variance of desired output Normalizirana srednja kvadratna pogreška / varijanca očekivanog rezultata	0.008776864
Mean Absolute Error / Srednja apsolutna pogreška	6.084597287
Minimum Absolute Error / Minimalna apsolutna pogreška	0.17155033
Maximum Absolute Error / Maksimalna apsolutna pogreška	19.33887329
Linear Correlation Coefficient / Koeficijent linearne korelacije	0.995628933

fact the dependence on the amount of training data is not clearly visible, and Figure 12 and 13 show the dependence of the desired and actual network output for every randomly picked testing exemplar.

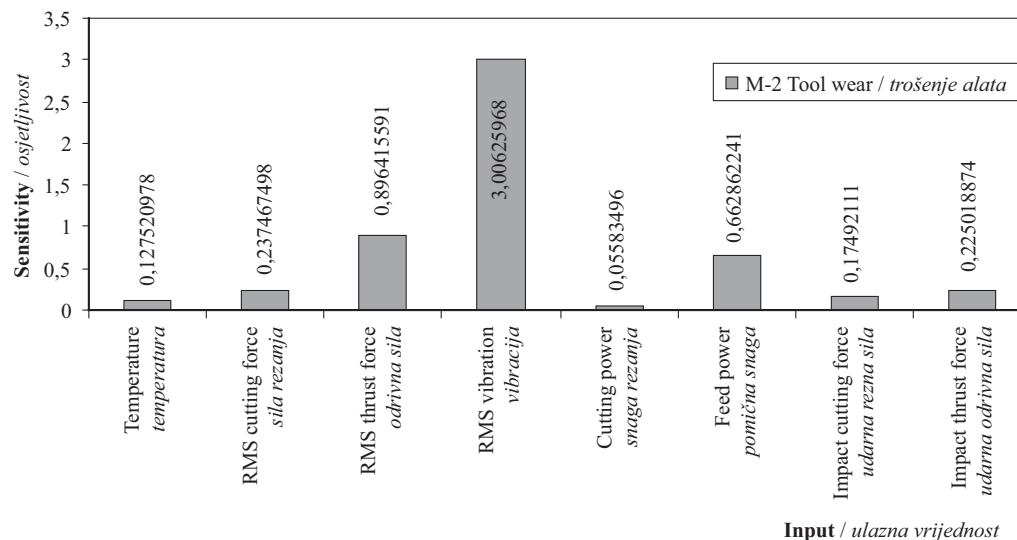
After being tested against regression and error values, the model has undergone testing against sensitivity about the mean. This means the knowledge of the effect that each network input has on the network output. The procedure provides feedback as to which input channels are the most significant. Obviously, at

this stage insignificant channels can be simply removed, reducing the size of the network, and consequently also the training time complexity. The results are shown in Figure 14 and 15.

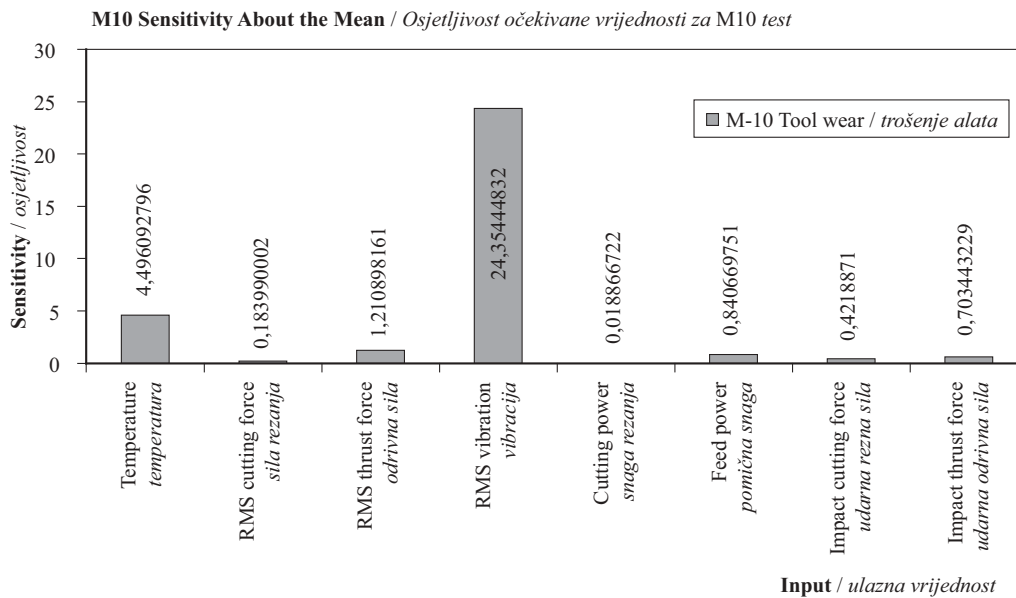
### 3 RESULTS AND DISCUSSION 3. REZULTATI I RASPRAVA

Tools used for MDF milling were marked with M1-M10 symbols. Diagnostic tests were performed in

**M2 Sensitivity About the Mean / Osjetljivost očekivane vrijednosti za M2 test**



**Figure 14** Sensitivity of the M2 tool wear identification network  
**Slika 14.** Osjetljivost mreže za prepoznavanje trošenja alata M2



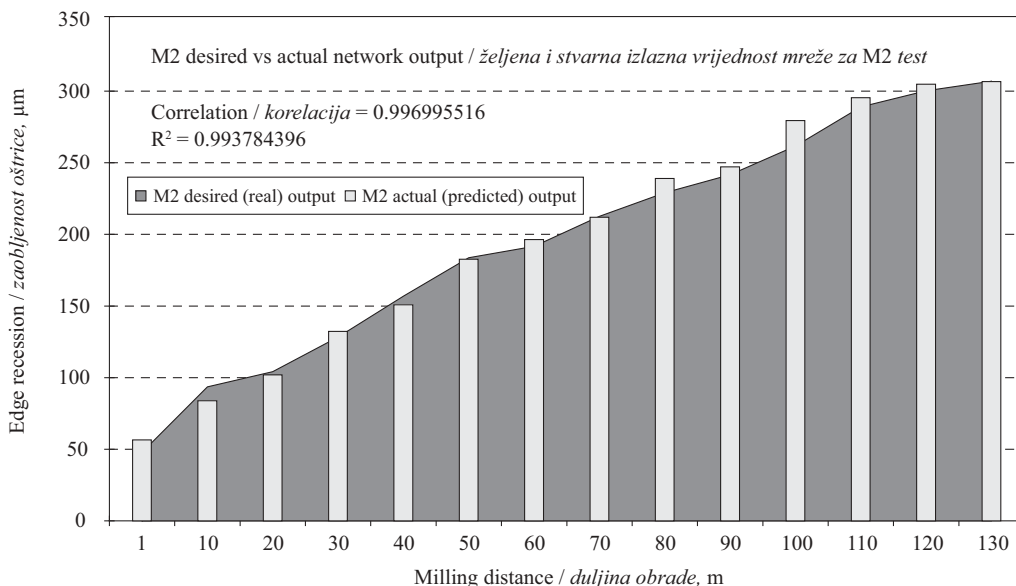
**Figure 15** Sensitivity of the M10 tool wear identification network  
**Slika 15.** Osjetljivost mreže za prepoznavanje trošenja alata M10

the following way: data obtained from wear process of M1 tool was fed into neural network, and on this basis M2 tool wear prediction was calculated. After that M1 and M2 tool data were fed into the diagnostic system, and after learning, M3 tool wear was predicted. And so forth, the experiment ended with M1-M9 tools data designated as a learning material, with M10 tool used for wear prediction. Due to space shortage, not all diagrams and result tables are presented, as they are very similar, so it was decided to visually present only half of the results, M2, M4, M6, M8 and M10 tool prediction, leaving M3, M5, M7, M9 aside.

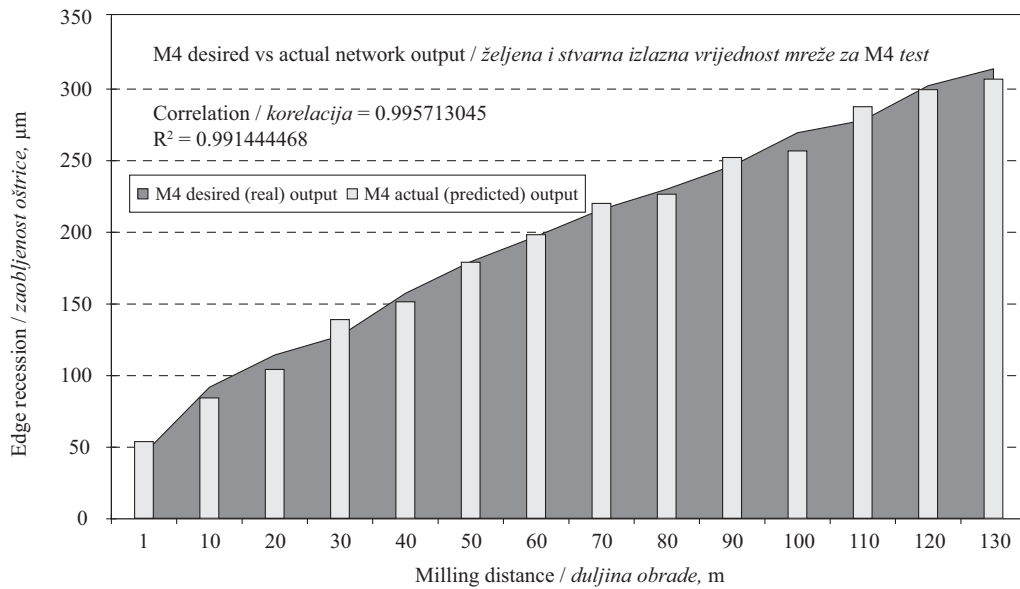
Diagnostic data collected at previous points were used for the preparation of the average diagnostic error in dependence of the number of trials used for training of neural network-based diagnostic system. Obviously the best results (2.95% error) were gained with 9 data sets

provided as a training set for neural network. After providing only one data set for training identification, accuracy reaches 4.16%. The worst results were recorded with M7 tool predicted on the basis of M1-M6 tools (9.50% error). The average diagnostic error was defined as a simple average percentage difference between the desired (measured) and actual (neural network predicted) values. Correlation and  $R^2$  were calculated between whole groups of the desired and actual output values. Even such accuracy can be recognized as very high in comparison to methods used in wood industry, based only on working time, not taking into account any other indirect factors. Table 5 shows the summary of prediction results with the average diagnostic error and correlation of predicted and measured data sets.

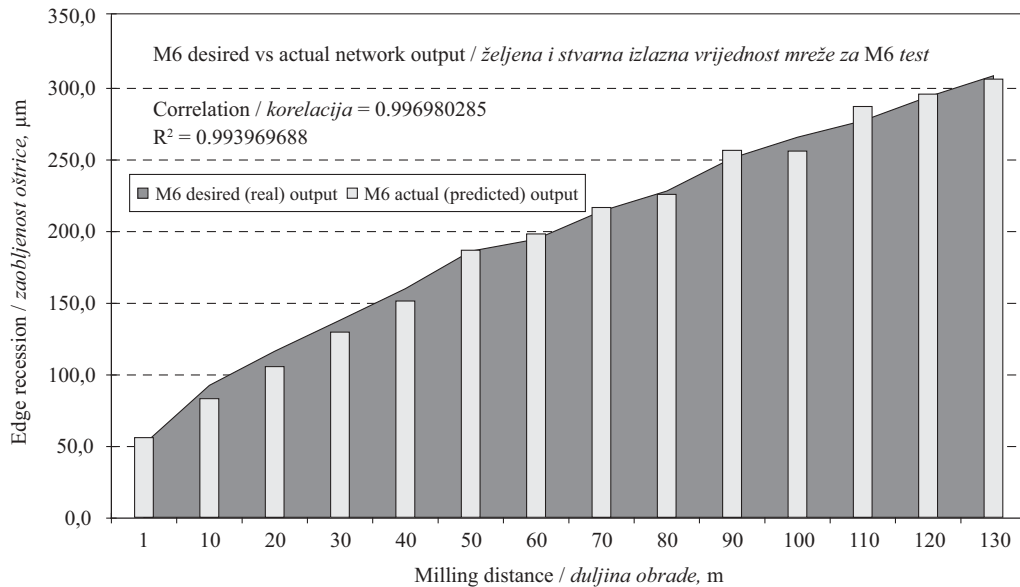
It should be noted that the largest individual diagnostic errors, values up to 20%, were observed in initial



**Figure 16** M2 tool wear diagnosis test  
**Slika 16.** Rezultati predviđanja zatupljenosti alata M2



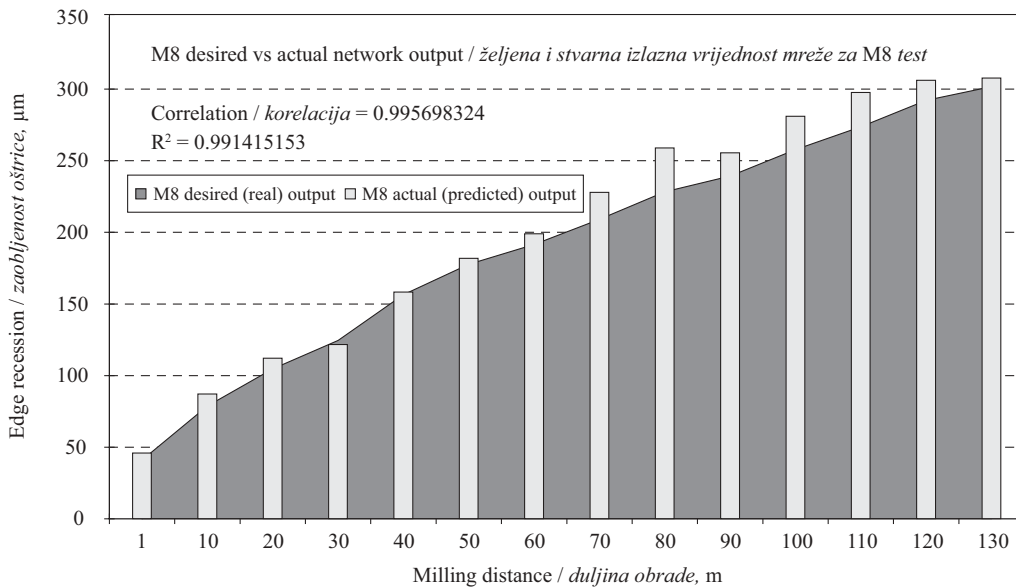
**Figure 17** M4 tool wear diagnosis test  
**Slika 17.** Rezultati predviđanja zatupljenosti alata M4



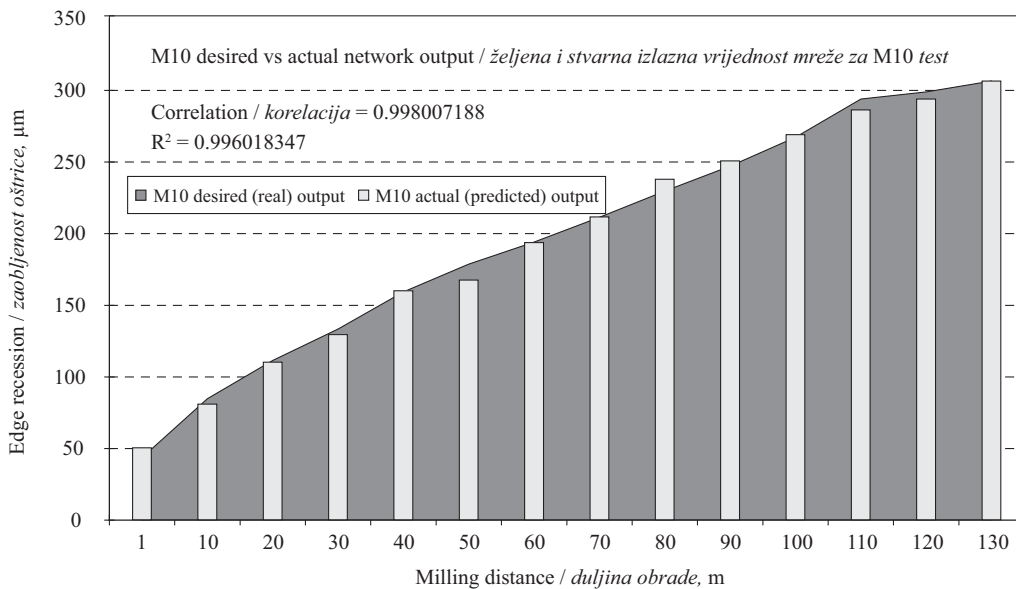
**Figure 18** M6 tool wear diagnosis test  
**Slika 18.** Rezultati predviđanja zatupljenosti alata M6

**Table 5** Summary of average diagnostic error for M2-M10 tools  
**Tablica 5.** Zbirni podaci prosječne dijagnostičke pogreške za alate M2 – M10

Test number <i>Oznaka testa</i>	Number of tools used as training data <i>Broj alata čiji su podaci uzeti za treniranje</i>	Average diagnostic error <i>Prosječna dijagno- stička pogreška %</i>	Correlation of desired (measured) and actual (network output) tool wear data <i>Korelacija između očekivanih i dobivenih podataka o zatupljenosti alata</i>	Coefficient of determination <i>Koeficijent determinacije</i>
M2	1	4.16	0.996995516	0.993784396
M3	2	4.48	0.996003252	0.990748441
M4	3	4.72	0.995713045	0.992022477
M5	4	5.10	0.996706367	0.993423583
M6	5	3.91	0.996980285	0.993969688
M7	6	9.50	0.994839892	0.989706411
M8	7	6.63	0.995698324	0.991415153
M9	8	3.19	0.998728859	0.997459333
M10	9	2.95	0.998007188	0.996018347



**Figure 19** M8 tool wear diagnosis test  
**Slika 19.** Rezultati predviđanja zatupljenosti alata M8



**Figure 20** M10 tool wear diagnosis test  
**Slika 20.** Rezultati predviđanja zatupljenosti alata M10

wearing ranging between 50 - 100 μm of the measured edge recession. This can be explained by assuming that the initial wear reaching several micrometers is actually comparable with tool grinding traces. This is quite normal in industry practice. Correlation between the obtained and predicted data in MDF milling in all cases is close to one, reaching 0.9956 in the worst case.

#### 4 CONCLUSION 4. ZAKLJUČCI

The average diagnostic error of the neural network-based system shows high possibilities of wear identification, when based on indirectly measured data. Errors in comparison to traditionally used methods ba-

sed only on work time are in fact negligible. Accuracy ranging from 3 to 10% means that the diagnostic system is capable of identifying the condition of tool wear with astounding precision, in the order of several micrometers. After adaptation of data acquisition system, the neural network-based diagnostic system may be used in practice, especially in machining of relatively homogenous material, such as MDF.

The next step focused on industrial application should be the optimization of factors measured during milling to become input data into neural network-based system. The analysis and choice of the proper neural network model should simplify the whole process and make it less complicated and expensive in practical application.

## 5 REFERENCES

### 5. LITERATURA

1. Bratkowski, B.; Przydróżny, M., 2001: Sztuczne Sieci Neuronowe (*Artificial Neural Networks*) . Monografia Instytutu Sterowania i Systemów Informatycznych Politechniki Zielonogórskiej (<http://nrrn.prv.pl>, <http://www.issi.uz.zgora.pl>)
2. Byrne, G.; Dornfeld, D.; Inasaki, I.; Kettler, G.; Konig, W.; Teti, R., 1995: Tool Condition Monitoring (TCM) – The statue of research and industrial application. *Annals of CIRP*, 44.
3. Chryssolouris, G.; Guillot, M. 1990: A comparison of statistical and AI approaches to the selection of process parameters in intelligent Machining. *Journal of Engineering for Industry*, 112.
4. Fischer, R., 1997: A way to observe and to calculate edge wearing in cutting wood-materials. *Proceedings of the 13th International Wood Machining Seminar*. Vancouver, Canada.
5. Gawlik, J.; Karbowski, K., 1997: Prognozowanie stanu ostrza skrawającego z zastosowaniem sieci neuronowych. *Mechanik* nr 4.
6. Kacalak, W, 1994: Zastosowania sieci neuronowych w budowie i eksploatacji maszyn. *Mechanik* nr 2.
7. Kozma, R.; Kitamura, M.; Sakuma, M.; Yokoyama, Y., 1994: Anomaly detection by neural network models and statistical time series analysis. *IEEE International Conference on Neural Networks*. Orlando, Florida, USA.
8. Li, X., 2001: Real Time Tool Wear Condition Monitoring in Turning. *International Journal of Product Research*, 39.
9. McKenzie, W.M.; Sheikh-Ahmad, J.Y., 1997: Measurement of tool wear and dulling in the machining of part-
10. Peklenik, J.; Jerele, A., 1992: Some basic relationships for identification of the machining process. *Annals of CIRP* 41, 155-159. doi:10.1016/S0007-8506(07)61174-3
11. Sick, B., 1997: On-line tool wear monitoring in Turning using Neural Networks. *Badania Wydziału Matematyki I Nauk Komputerowych Uniwersytetu Passau*, Niemcy.
12. Sick, B.; Sicheneder, A., 1998: Time delay neural networks for On-line Tool Wear Classification and Estimation in Turning. *Badania Wydziału Matematyki I Nauk Komputerowych Uniwersytetu Passau*, Niemcy.
13. Stein, J.L.; Huh, K., 1991: A design procedure for model-based monitoring systems, cutting force estimation as a case study. *Control o manufacturing processes*. ASME Production Engineering Division Vol. 52.
14. Tadeusiewicz, R., 1992-2002: Sieci Neuronowe. Wydawnictwo Internetowe AGH.
15. Teshima, T.; Shibasaka, T.; Takuma, M., 1993: Estimation of cutting tool life by processing tool image data with neural network. *Annals of CIRP* No 42/1.

### Corresponding address:

Assistant MARCIN ZBIEĆ, Ph.D.

Faculty of Wood Technology  
Warsaw University of Life Sciences  
Ul. Nowoursynowska 159  
02-787 Warsaw, Poland  
e-mail: marcin\_zbiec@sggw.pl

# Uspostava i razvoj hrvatskog sustava kontrole kvalitete drvnih ploča utemeljenog na europskoj tehničkoj regulativi

## Establishment and Development of Croatian Quality Control System for Wood-Based Panels in Accordance with European Technical Regulations

**Stručni rad • Professional paper**

*Prispjelo – received: 16. 1. 2010.*

*Prihvaćeno – accepted: 25. 2. 2011.*

*UDK: 630\*863.2*

*doi: 10.5552/drind.2011.1001*

**SAŽETAK** • Nakon osamostaljenja Republike Hrvatske (RH) osnovni gospodarski cilj bio je uključanje na međunarodno tržište i ulazak u Europsku uniju (EU). S razvojem vanjskotrgovinskih odnosa bilo je nužno uspostaviti sustav kontrole kvalitete drvnih ploča, a taj proces počinje u sklopu Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM). Pod ingerencijom DZNM-a provodi se edukacija, ovlašćivanje, osnivanje i rad tehničkih odbora (TO), donose se novi propisi te obavlja implementacija europskoga tehničkog zakonodavstva. Prema Naredbi o obaveznom certificiranju ploča iverica za opću uporabu i graditeljstvo (Sl. list 61/83), DZNM ovlastio je godine 1995. Šumarski fakultet za obavljanje poslova certificiranja ploča iverica. Ministarstvo gospodarstva također se uključilo u izgradnju sustava, pa je krajem 1998. godine na području drvnih ploča izgrađen respektabilan sustav kontrole kvalitete. Sljedeći korak bila je izrada tehničkih propisa i implementacija europskih normi. No tada slijede potezi zbog kojih dolazi do potpunog raspada sustava, koji početkom 2004. godine više praktički ne postoji. Ministarstvo gospodarstva i Vlada Republike Hrvatske ukidaju sve odluke o kontroli kvalitete drvnih ploča, osim obaveznog certificiranja ploča iverica, koje je pod ingerencijom DZNM-a, a on prestaje raditi tijekom 2003. godine. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG) kao nadležna institucija preuzima 2005. godine potvrđivanje ploča iverica, a potom u tehničku regulativu za graditeljstvo uvodi europske norme za drvene ploče. No potvrđivanje ploča iverica i dalje se obavlja prema normama bivše države. U pokušaju donošenja Tehničkog propisa za drvene ploče, koji je iniciralo Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva (MRRŠVG), nije postignut konsenzus zbog primjene drvnih ploča i za opće uporabe i na području graditeljstva.

**Ključne riječi:** drvene ploče, kontrola kvalitete, TO 89, tehnički propis, europske norme

<sup>1</sup> Autori su, redom, izvanredni profesor, docent i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika Hrvatska. <sup>2</sup> Autor je mag. ing. techn. lign., zaposlenik tvrtke Drvena industrija Novoselec d.o.o., Novoselec, Republika Hrvatska.

<sup>1</sup> Authors are associated professor, assistant professor and assistant at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia. <sup>2</sup> Author is Master of Engineering in wood technology, employee of the wood industry company Novoselec d.o.o., Novoselec, Republic of Croatia.



**ABSTRACT** • After reaching its independence, Croatia's (CRO) main economic goal was to enter the international market and join the European Union (EU). As foreign trade relations developed, it was necessary to establish a quality control system for wood-based panels. The development of the quality system started at the State Office for Standardization and Metrology (SOSM). The Faculty of Forestry was intensively involved in all activities related to the establishment of the quality system, such as the establishment of testing laboratories, education, certification, quality control, work in technical committees, and special activities were directed towards the implementation of technical regulations in wood technology practice. The system was first introduced by the Order of obligatory certification of particleboard panels for general use and construction (Official Gazette "Sl. list" 61/83), based on laws of the former state. In accordance with the Order, in 1995 SOSM authorized the Faculty of Forestry for conducting the certification of particleboards. The Ministry of Economy was also included in the development of the system in areas not covered by the Order and regulations under SOSM's jurisdiction. In the field of wood-based panels, a respectable system was built by the end of 1998. The next step was the preparation of technical regulations with the implementation of harmonized European standards. However, for reasons beyond understanding, the system completely collapsed, and in early 2004 it practically ceased to exist. The Ministry of Economy and the Croatian Government abolished all decisions on quality control of wood-based panels, except the obligatory certification of particleboards performed by SOSM, and it stopped its activities in 2003. The Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (MEPPPC), as the competent institution, took over the certification of particleboards after a whole year of lack of any quality control of wood-based panels, and implemented the European standards for particleboards into technical regulations for construction. However, the certification of particleboards is still performed in accordance with standards of the former state. In the attempt to enact the Technical Regulation for wood-based panels, initiated by the Ministry of Regional Development, Forestry and Water Management (MRDFWM), no consensus was reached, due to the application of wood-based panels both in the area of general use and in the field of construction.

**Key words:** wood-based panels, quality control, TC 89, technical regulation, European standards

## 1. UVOD 1 INTRODUCTION

Drvne su ploče jedan od najvažnijih materijala u razvoju drvnoindustrijskog kompleksa, što je vidljivo iz svih statističkih podataka, ali i iz vizije razvoja europskoga gospodarstva utemeljenoga na šumskim proizvodima (Hägglund i sur., 2005). Za razvoj industrije finalnih drvnih proizvoda Republike Hrvatske (RH) drvne su ploče od iznimnog značaja. Od osamostaljenja RH njezino je tržište gotovo potpuno otvoreno, što dovodi do intenzivnog uvoza drvnih ploča. Otvoreno tržište omogućilo je i uvoz drvnih ploča neadekvatne kvalitete, deklariranih kao visokovrijedni proizvodi. Prvi korak u uspostavi sustava kontrole kvalitete drvnih materijala jest donošenje Zakona o standardizaciji (NN 53/91; 26/93; 29/94 i 25/96), kojim je, među ostalim, iz zakonodavstva bivše države u hrvatsko zakonodavstvo ugrađena Naredba o obaveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo (Sl. list 61/83). Preuzimanjem Naredbe ploče iverice postale su jedini proizvod za koji se izdavao certifikat (od 1995. godine), odnosno potvrda o sukladnosti (od 2005. godine) i koji je imao pravo nositi certifikacijski znak, prema Pravilniku o izgledu i upotrebi potvrđenog (certifikacijskog) znaka (NN 88/98; 165/98; 8/99).

Sukladno odredbama Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o ustrojstvu republičke uprave (NN 73/91), ustrojen je Republički zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, koji kasnije nastavlja plodan rad pod nazivom Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM), u skladu sa Zakonom o ustrojstvu i djelokrugu ministarstava i drugih organa državne uprave (NN 55/92). Tijekom 1993. godine osnovan je na Šumarskom

fakultetu u Zagrebu, na Drvnotehnoškom odsjeku, na Katedri za mehaničku preradu drva, Laboratorij za drvene ploče (LAP), koji započinje intenzivne aktivnosti u kontroli kvalitete drvnih ploča.

## 2. USPOSTAVA SUSTAVA KONTROLE KVALITETE DRVNIH PLOČA 2 ESTABLISHMENT OF WOOD-BASED PANEL QUALITY CONTROL SYSTEM

DZNM 15. svibnja 1995. godine donosi rješenje o ovlaštenju Šumarskog fakulteta za obavljanje kontrole kvalitete ploča iverica, čime ujedno započinje njihova sustavna kontrola. U uspostavu sustava kvalitete uključuje se i Ministarstvo gospodarstva, koje donosi Odluku o proglašenju Zakona o nadzoru kakvoće određenih proizvoda pri uvozu i izvozu (NN 21/95). Ministarstvo gospodarstva također donosi Pravilnik o načinu i postupku obavljanja nadzora kakvoće određenih proizvoda pri uvozu i izvozu (NN 42/96). U popisu niza proizvoda za koje se uvjerenje može izdati samo na temelju prethodno provedenog ispitivanja nalaze se furniri i ploče, a jedna od stručnih organizacija koja može obavljati ispitivanje kakvoće furnira i drvnih ploča jest Šumarski fakultet, Zavod za istraživanja u drvnoj industriji (ZIDI), u čijem je sastavu bio LAP. Novi korak u uključivanju u europski sustav kontrole kvalitete drvnih ploča bilo je donošenje Pravilnika o uvjetima i načinu priznavanja izvještaja o ispitivanju izdanih u inozemstvu i izdavanja potvrda o sukladnosti (NN 69/97). Glavna zapreka u postupku priznavanja bile su međunarodne norme, koje u Republici Hrvatskoj nisu bile prihvaćene.

Na temelju Zakona o normizaciji (NN 55/96), ravnatelj DZNM-a donosi Pravilnik o općim uvjetima

koje moraju zadovoljiti ovlaštene laboratoriji i ovlaštene pravne osobe za provedbu potvrđivanja i o načinu provedbe postupka ovlašćivanja (NN 83/98). Opći uvjeti za dobivanje ovlaštenja koje moraju zadovoljiti laboratoriji određeni su normom HRN EN 45001 - Opći kriteriji za rad ispitnih laboratorija.

Ministarstvo gospodarstva potom donosi Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o načinu i postupku obavljanja nadzora kakvoće određenih proizvoda pri uvozu i izvozu (NN 108/97). Pravilnik dopušta ocjenu kvalitete drvnih materijala na temelju pregleda (senzorski), a ispitivanja su ostala obvezna samo za ploče iverice. S obzirom na to da ocjena kvalitete drvnih ploča bez ispitivanja ne može biti pouzdana, osobito kad je riječ o slobodnom formaldehidu, izdavanje uvjerenja bez ispitivanja ne može biti učinkovito u kontroli kvalitete.

Tijekom stroge primjene izvornog Pravilnika ispitivana je koncentracija slobodnog formaldehida u drvnim pločama i u brojnim od njih otkrivena je koncentracija osjetno viša od maksimalno dopuštene emisijskom klasom E1 (maksimalno 10 mg HCHO/100 g, prema HRN EN 120). U postupcima kontrole kvalitete drvnih ploča LAP-a, od 1993. do 1998. godine otkriveno je 19 ploča emisijske klase E2, devet ploča emisijske klase E3, a četiri ploče bile su izvan emisijskih klasa (Bruči i sur., 1998). Vlada Republike Hrvatske donijela je 25. studenog 1999. godine Uredbu o određivanju proizvoda za koje je potrebno uvjerenje o kakvoći (NN 127/99). Prema toj uredbi, nadzoru kakvoće proizvoda pri uvozu i domaćih proizvoda, prije njihova stavljanja u promet, s područja drvnih ploča podliježu samo ploče iverice. Dakle, ostale drvene ploče uopće ne podliježu nadzoru kakvoće.

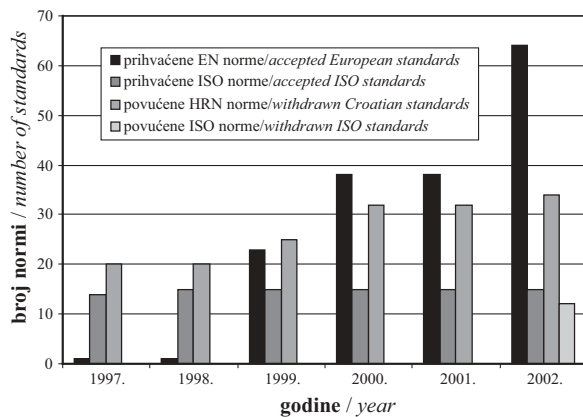
## 2.1. Osnivanje i rad Tehničkog odbora TO 89

### 2.1 Establishment and activities of Program Committee for wood and Technical Committee 89

Baza za razvoj sustava kvalitete tehnička je regulativa, te stoga u sastavu DZNM-a početkom 1997. godine počinju raditi tehnički odbori (TO). Tehnički su odbori ustrojani prema ISO sustavu (International Organization for Standardization), odnosno CEN (European Committee for Standardization). Zadaća TO-a je studij međunarodnih normi te izrada prijedloga prihvaćanja u izvornom obliku kao hrvatskih normi (HRN). Preuzimanjem međunarodnih normi, norme bivše države postupno se povlače iz uporabe. TO 89 - Furniri, drvene ploče i drveni poluproizvodi osnovan je u sklopu DZNM-a 22. travnja 1997. godine. Usvojena je struktura TO 89 s tri pododbora (Jambreković, 2003): PO 1 - Furniri i slojevito drvo, PO 2 - Ploče iz usitnjenog drva i PO 3 - Poluproizvodi.

Nakon reorganizacije TO 89 nastavlja rad pod nazivom Furniri i drvene ploče, te s promijenjenom strukturom, koja sada ima sljedeće pododbore: PO 1 Ploče vlaknate, PO 2 Ploče iverice i PO 3 Uslojeno drvo.

U početnoj fazi rada, sukladno dobivenim instrukcijama, orijentacija TO 89 bila je implementacija ISO normi. Razvojem novih EN normi započeo je proces povlačenja ISO normi iz uporabe te zamjena ISO normi EN normama (sl. 1).



Slika 1. Stanje normi za drvene ploče krajem 2002. godine  
Figure 1 Status of wood-based panel standards in late 2002

Do kraja 2002. godine prihvaćene su 64 EN norme i 15 ISO normi, a iz uporabe su povučene sve norme bivše države. Neovisno o prihvaćanju gotovo svih međunarodnih normi u certificiranju ploča iverica, norme bivše države ostaju i dalje na snazi. Stoga je Naredbu kao tehničko pravilo trebalo zamijeniti tehničkim propisom utemeljenim na međunarodnim normama.

### 2.1.1. Zakonska regulativa kojom sustav kontrole kvalitete drvnih ploča postaje upitan

#### 2.1.1 Legal regulations that made wood-based panel quality control questionable

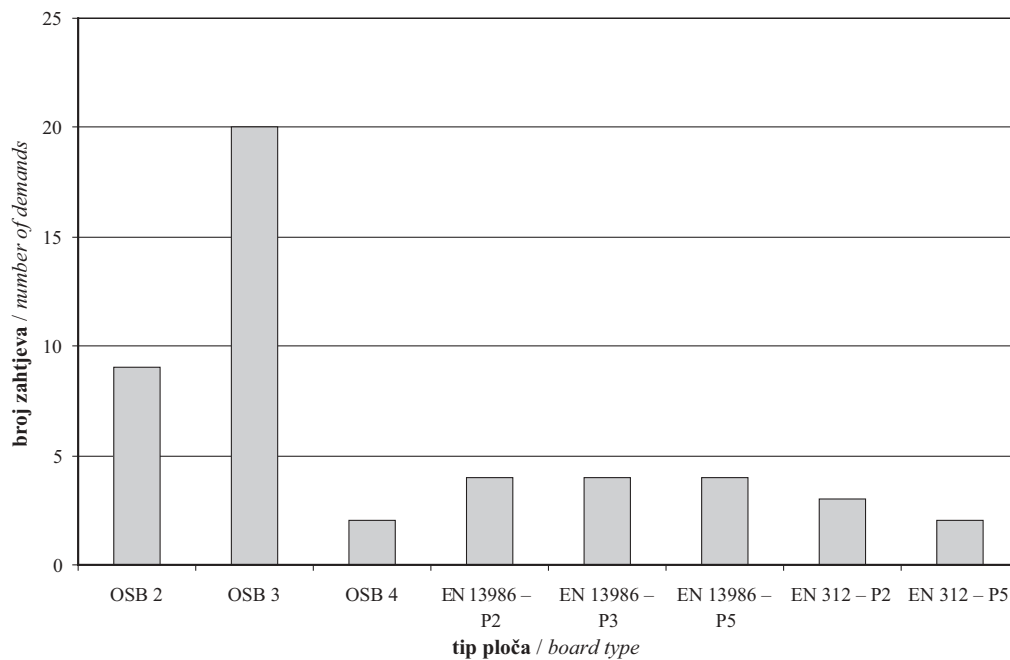
Donošenjem Pravilnika o izmjenama i dopunama Pravilnika o načinu i postupku obavljanja nadzora kakvoće određenih proizvoda pri uvozu i izvozu kontrola kvalitete drvnih ploča postaje upitna. Obveza ispitivanja drvnih ploča pri izdavanju dokumentacije o kvaliteti ostala je samo za ploče iverice, koje podliježu obvezi certificiranja. Neovisno o stručnoj osposobljenosti, kvalitetu drvnih ploča nije moguće odrediti vizualnim pregledom, osobito kad je riječ o koncentraciji slobodnog formaldehida (Bruči i sur., 1994). Uredbom Vlade RH o određivanju proizvoda za koje je potrebno uvjerenje o kakvoći s popisa su skinuti svi materijali i proizvodi od drva, osim ploča iverica i namještaja.

Pozivom na zakonsko ovlaštenje koje proizlazi iz Zakona o normizaciji (NN 55/96) DZNM je bio obvezan u roku tri godine od njegova stupanja na snagu donijeti odgovarajući provedbeni tehnički propis za proizvode koji podliježu potvrđivanju (certificiranju), kao što su ploče iverice. Tehnička je baza postojala, a na području drvnih ploča norme su bile harmonizirane (Jambreković, 2003). Umjesto toga, DZNM donosi Naredbu o izmjenama i dopunama Naredbe o obveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo (NN 131/2000), u kojoj i dalje nisu implementirane EN norme. U nadi da će se pokrenuti donošenje novih tehničkih propisa, nastavljen je rad tehničkog odbora TO 89. Potom slijedi reorganizacija DZNM-a, tijekom i nakon koje su sve aktivnosti bile potpuno zaustavljene, a sustav više gotovo i nije postojao.

## 2.2. Reorganizacija DZNM-a

### 2.2 Reorganization of SOSM

Tijekom 2003. godine počinje reorganizacija DZNM-a. Zakonom o akreditaciji (NN 158/03) uređuje



**Slika 2.** Certificirane ploče iverice deklarirane prema EN normama u razdoblju od 2000. do 2007. godine  
**Figure 2** Particleboard panels certified according to European standards in the period 2000 to 2007

se osnivanje i djelatnost tijela koje obavlja poslove nacionalne službe za akreditaciju, a Zakonom o normizaciji (NN 163/03) uređuju se načela i ciljevi hrvatske normizacije. Uslijedila je Uredba o osnivanju Hrvatskog zavoda za norme (NN 154/04) i Uredba o osnivanju Hrvatske akreditacijske agencije (NN 158/04). Time je DZNM prestao raditi, a nove ustanove više nemaju ovlasti za ovlašćivanje.

Šumarski fakultet, Zavod za tehnologije materijala, ovlašten je od 1995. godine za certificiranje ploča iverica rješenjima DZNM-a, a posljednje ovlaštenje dobio je 9. travnja 2001. godine, na temelju Zakona o normizaciji (NN 55/96). Restrukturiranjem DZNM-a Šumarski fakultet, Zavod za tehnologije materijala, ostao je, s važećim ovlaštenjem, bez nadležne institucije.

Osnivanjem Hrvatskog zavoda za norme (HZN) prethodno formirani tehnički odbori nisu automatizmom nastavili raditi, već su se morali preustrojiti u skladu sa Statutom HZN-a i Unutrašnjim pravilima za normizaciju.

### 2.3. Stanje u normizaciji

#### 2.3 The situation in standardization

Od 2002. godine, kada su prihvaćene gotovo sve međunarodne norme na području drvnih ploča i kada se TO 89 polako gasio, na europskoj su se razini dogodile brojne promjene u normizaciji. Mnoge su norme podvrgnute reviziji, a doneseno je i dosta novih. Ostalo je važiti samo 35 normi (od 64 prihvaćene), bilo je potrebno iz uporabe povući 11 HRN EN normi i tri HRN ISO norme koje više nisu postojale, a u postupak revizije staviti 18 HRN EN normi. Na razini CEN-a sredinom 2008. godine, u sklopu CEN TC 112, objavljeno je ukupno 77 normi.

Na prijedlog Tehničke uprave HZN-a do 31. prosinca 2008. godine administrativno su prihvaćene sve EN norme koje pripadaju HZN/TO 89, kao hrvatske norme. Aktivacija i preustroj TO 89 uspijeva tek 20.

lipnja 2009. godine, kada ravnatelj HZN-a donosi odluku o novoosnovanom HZN/TO 89.

### 2.4. Osnovni problemi u certificiranju prema aktualnoj Naredbi

#### 2.4 Basic problems in certification according to current Order

Osnovni problemi u certificiranju prema aktualnoj Naredbi o obaveznom certificiranju ploča iverica za opću uporabu i graditeljstvo jesu:

- nije propisano ispitivanje slobodnog formaldehida,
- nije propisano ispitivanje modula elastičnosti savojne čvrstoće,
- pojavili su se novi tipovi ploča iverica,
- nema normi za ploče iverice s makroiverjem (OSB ploče),
- normirana kvalitativna svojstva ploča iverica bitno se razlikuju od dosadašnjih,
- metoda ispitivanja bubrenja ploča iverica bitno je promijenjena.

OSB ploče iverice novi su proizvod na europskoj i hrvatskom tržištu, za koje u Naredbi nema normi. Europa sve do 1997. godine, kada su donesene prve EN 300 norme, nije imala norme za OSB ploče. Norme EN 312 daju tehničke specifikacije za sedam tipova ploča iverica s mikroiverjem (od P1 do P7), te se bitno razlikuju od normi prema Naredbi (Jambreković, 2004). Bubrenje ploča iverica prema EN 317 također se bitno drugačije izvodi nego u normama Naredbe. Ispitivanje bubrenja vrlo je važno, jer je evidentan trend povećanja nestabilnosti ploča iverica (Jambreković, 2005). Od 2000. godine, kada je trebao stupiti na snagu tehnički propis za ploče iverice, a koji je trebalo proširiti i na ostale drvene ploče, certificiran je velik broj ploča iverica koje nije bilo moguće deklarirati prema normama iz Naredbe (sl. 2).

Evidentno je da je bilo najviše zahtjeva za certificiranje pojedinih tipova OSB ploča iverica, no sve je

učestalija pojava zahtjeva za certificiranjem ploča iverica s mikroiverjem, deklariranim prema tipovima u skladu s normama EN 13986 i EN 312.

## **2.5. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva**

### **2.5 Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction**

Reorganizacijom DZNM-a, poslovi potvrđivanja (certifikacije) ploča iverica 2005. godine prelaze u djelokrug Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG). Naredba je ugrađena u Zakon o gradnji (NN 175/03), odnosno u Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o gradnji (NN 100/04), a provodi se u skladu s Pravilnikom o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevinskih proizvoda (NN 1/05). Potom slijedi novi Pravilnik o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevinskih proizvoda (NN 103/08), koji propisuje ustroj laboratorija prema HRN EN ISO IEC 17025:2000.

Tijekom implementacije europske smjernice za građevne proizvode 89/106/EEZ, MZOPU u svoje tehničko zakonodavstvo uključuje i Naredbu o obveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo. Ministrica zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 20. srpnja 2005. godine daje Šumarskom fakultetu ovlaštenje za obavljanje poslova ocjenjivanja sukladnosti građevinskih proizvoda na temelju članka 26. stavka 1. Zakona o gradnji. Predmet ovlaštenja su ploče iverice za opću upotrebu i upotrebu u graditeljstvu, uz navođenje tehničkih specifikacija baziranih na normama bivše države, a prema Naredbi koja vuče korijenje iz Službenog lista 61/83. U formularima potvrde o sukladnosti navodi se da su značajke proizvoda u skladu sa Zakonom o gradnji i Naredbom o obaveznom potvrđivanju ploča iverica za opću uporabu i graditeljstvo (NN 55/96 i 131/00). Šumarski fakultet 10. srpnja 2007. godine dobiva produženje ovlaštenje za obavljanje poslova ocjenjivanja sukladnosti, a zakonska regulativa ostaje ista. Ovlaštenje vrijedi do 11. srpnja 2009. godine.

#### **2.5.1. Tehnički propis za drvene konstrukcije (NN 121/07)**

##### **2.5.1 Technical regulation for wooden constructions (Official Gazette "NN" 121/07)**

Ministrica zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 22. studenog 2007. godine donosi Tehnički propis za drvene konstrukcije (NN 121/07). Među ostalim, građevni proizvodi na koje se primjenjuje taj propis jesu i ploče na osnovi drva. U članku 40. propisano je da se nakon 31. prosinca 2008. godine prestaju primjenjivati priznata tehnička pravila za dokazivanje uporabljivosti građevinskih proizvoda. U tehničkom propisu za drvene konstrukcije implementirane su HRN EN norme za drvene ploče, uz poziv na priznata tehnička pravila za projektiranje i norme s područja u kojemu postoji samo tehničko pravilo za iverice, a za ostale drvene ploče nema ni tehničkog pravila, ni tehničkog propisa.

## **2.5.2. Zakon o građevinskim proizvodima**

### **2.5.2 Construction Products Law**

Hrvatski sabor je 15. srpnja 2008. godine donio Zakon o građevnim proizvodima (NN 86/08). U članku 85. navedenog zakona stoji da se za građevni proizvod za koji nije donesen tehnički propis uporabljivost dokazuje prema priznatim tehničkim pravilima. Od dana prijama RH u EU za dokazivanje uporabljivosti građevinskih proizvoda za koje postoji usklađena europska specifikacija prestat će se primjenjivati priznata tehnička pravila sadržana među ostalim, i u Naredbi o obveznom atestiranju ploča iverica za opću uporabu i građevinarstvo. To je još jedan dokument koji produžuje životni vijek Naredbe i omogućuje daljnju uporabu navedenih normi bivše države, usprkos službeno prihvaćenim HRN EN normama.

## **2.6. Odluka ustavnog suda Republike Hrvatske**

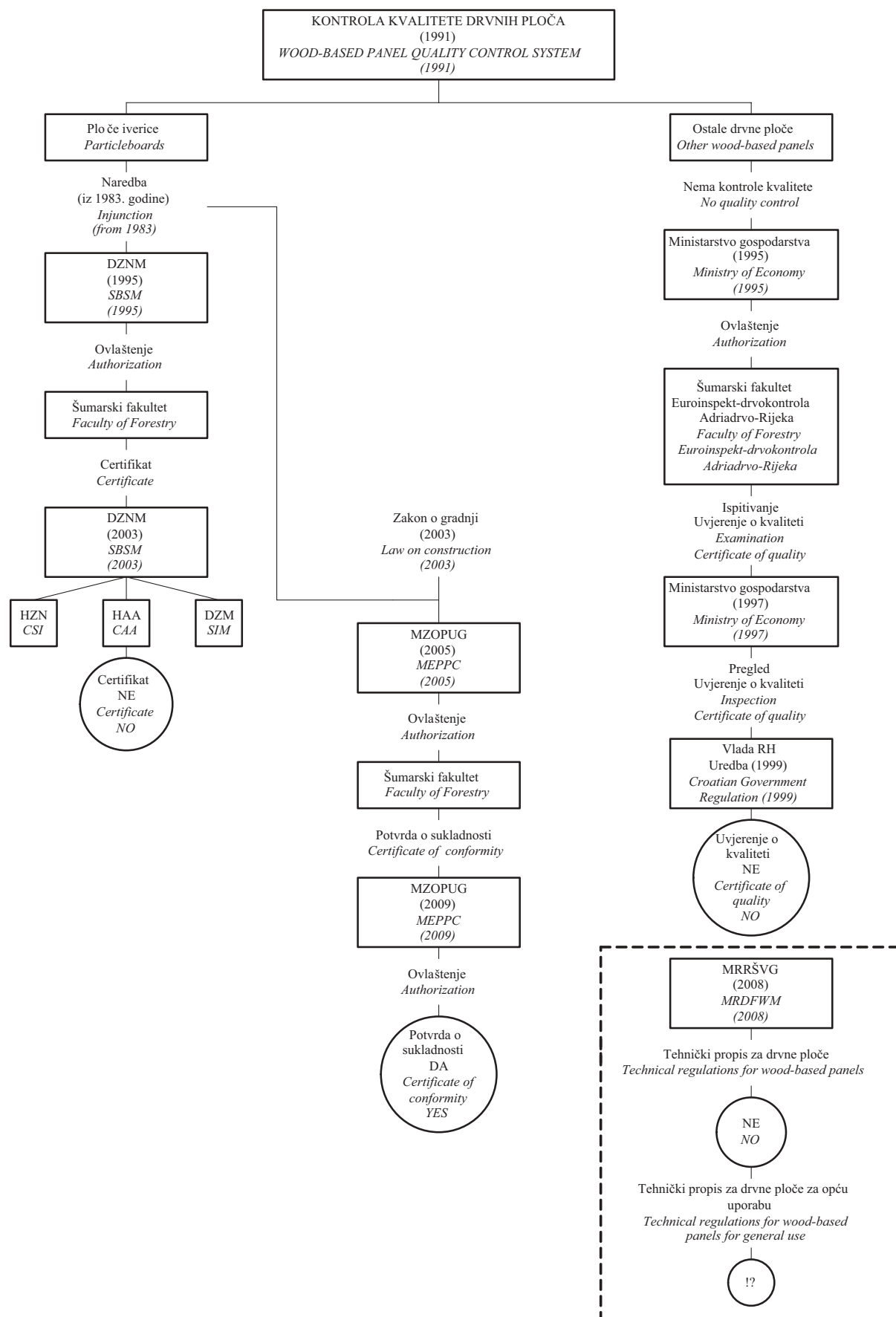
### **2.6 Decision of Croatia's Constitutional Court**

Odlukom Ustavnog suda Republike Hrvatske od 17. listopada 2007. godine (NN 115/07) Naredba o izmjenama i dopunama Naredbe o obveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo prestaje vrijediti 31. ožujka 2008. godine. U obrazloženju se navodi da je donošenje izmjena i dopuna propisa donešenoga na temelju drugog zakona (koji je u međuvremenu prestao vrijediti) suprotno izričitoj odredbi Zakona koja nadležno tijelo obvezuje na donošenje novih provedbenih propisa. Dakle, tom je odlukom stavljena izvan snage ne samo Naredba o izmjenama i dopunama, nego i izvorna Naredba (Službeni list 61/83). Time je nastao vakuum u poslovima certificiranja ploča iverica jer je stara Naredba izvan snage, a novi tehnički propisi usklađeni sa smjericama Europske Unije nisu izrađeni.

## **2.7. Izrada Tehničkog propisa za drvene ploče**

### **2.7 Preparation of Technical Regulation for wood-based panels**

Na inicijativu Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva (MRRŠVG), Uprave za drvenu industriju, ministar MRRŠVG-a donio je 3. rujna 2008. godine rješenje o osnivanju i imenovanju Povjerenstva za izradu tehničkih propisa za drvene ploče. Prihvaćanjem i primjenom Tehničkog propisa RH će uspostaviti tehničku regulativu za nesmetani promet drvnih ploča te osigurati kvalitetu drvnih ploča sukladno HRN EN normama. U pripremi prednacrta Tehničkih propisa dolazi do nesuglasica zbog stajališta da je ta problematika, kad je riječ o području graditeljstva, riješena u postojećoj tehničkoj regulativi. Na petom sastanku postignut je dogovor o izradi Tehničkog propisa za drvene ploče, uz zaključak da će tehnički propis obuhvatiti područje opće uporabe drvnih ploča. Tehnički propis za drvene ploče za opću uporabu rađen je u skladu sa Zakonom o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjeni sukladnosti (NN 158/03,79/07). Konačni nacrt prijedloga Tehničkog propisa za drvene ploče našao se na dnevnom redu 23. rujna 2009. godine. Nakon rasprave bilo je evidentno da još uvijek nisu jasna polazna stajališta pojedinih ministarstava te da Povje-



**Slika 3.** Razvoj kontrole kvalitete drvnih ploča  
**Figure 3** Development of wood-based panel quality control

renstvo neće moći pripremiti tehnički propis bez usuglašavanja stajališta MZOPUG-a i MRRŠVG-a.

### 3. OSVRT NA STANJE SUSTAVA 3 OVERVIEW OF SYSTEM STATUS

Sustav kontrole kvalitete drvnih ploča kvalitativno se razvijao od 1993. godine do 1999. godine (sl. 3). Gašenje sustava započelo je Ministarstvo gospodarstva, koje 1997. godine donosi odluku o izdavanju uvjerenja o kvaliteti drvnih ploča (osim iverica) na temelju pregleda, bez ispitivanja. Potom Vlada RH 1999. godine donosi odluku da za drvene ploče pri uvozu ne treba uopće nikakvo uvjerenje o kvaliteti.

DZNM se transformira i gasi, a poslovi ovlašćivanja više nisu u djelokrugu novoosnovanih institucija. Od 2003. godine Šumarski fakultet ima važeće rješenje o ovlaštenju za certificiranje ploča iverica, ali nema nadležne institucije. Prvi pozitivan pomak u ponovnoj uspostavi sustava kontrole kvalitete bio je 2005. godine, kada MZOPUG preuzima pod svoju ingerenciju Naredbu, te ovlašćuje Šumarski fakultet za provedbu postupaka potvrđivanja sukladnosti ploča iverica za opću uporabu i graditeljstvo. MZOPUG donosi niz zakona i propisa u kojima su obuhvaćene i drvene ploče, ali ne nalazi načina za rješavanje Naredbe iz 1983. godine.

Ustavni sud donio je odluku o ukidanju Naredbe o izmjenama i dopunama Naredbe o obveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo. No u tumačenju se navodi da o izvornoj Naredbi nije odlučivano, pa iz toga proizlazi da se prema njoj i dalje postupa.

Zakonom o građevnim proizvodima i Tehničkim propisom za drvene konstrukcije (NN 121/07), spornoj je Naredbi produženo trajanje na neodređeno vrijeme.

Aktivnošću MRRŠVG-a pokušao se izraditi tehnički propis za drvene ploče, ali još nisu riješene nesuglasice vezane za nadležnost pojedinih ministarstava glede primjene drvnih ploča u općoj uporabi, ali i u graditeljstvu.

### 4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

Naredba o obveznom atestiranju ploča iverica za opću uporabu i graditeljstvo s tehničkog stajališta je neodrživa, jer se nije bitno mijenjala punih 25 godina.

Zbog intenzivnog razvoja novih tipova ploča, novih ekoloških zahtjeva i usavršavanja ispitnih metoda certificiranja pojedinih tipova ploča prema spomenutoj Naredbi neizvedivo je.

Spornu Naredbu o obaveznom atestiranju ploča iverica za opću upotrebu i građevinarstvo (Sl. list 61/83), koja je i Odlukom Ustavnog suda Republike Hrvatske stavljena izvan snage potrebno je isključiti iz svih tehničkih dokumenata.

Područje certificiranja ploča iverica trenutačno je u zakonski nereguliranom području, što može imati

vrlo negativne posljedice za gospodarstvo Republike Hrvatske.

Nužno je usmjeriti napore na razvoj sustava kontrole kvalitete drvnih ploča radi zaštite potrošača drvnih ploča i proizvođača finalnih drvnih proizvoda.

Hrvatska gospodarska komora i ministarstva moraju podržati rad HZN/TO 89 - Furniri i drvene ploče, stručne se institucije moraju intenzivnije uključiti u njegov rad, a gospodarstvenici moraju shvatiti da put u EU vodi preko uređenog sustava tehničke regulative.

U Ministarstvu regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva treba ponovno potencirati izradu Zakona o preradi drva na kojemu se treba temeljiti sustav kontrole kvalitete drvnih materijala.

Povjerenstvu za izradu tehničkog propisa za drvene ploče za opću uporabu treba omogućiti izradu tehničkog propisa za sve drvene ploče.

Tehnička regulativa vezana za drvo i drvene materijale treba biti u djelokrugu Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, pod ingerencijom Uprave za drvnu industriju.

### 5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Bruči, V.; Janović, Z.; Jambreković, V.; Brezović, M., 1994: Određivanje formaldehida iz drvnih pločastih materijala perforatorskom metodom, Zagreb: Šumarski fakultet.
2. Bruči, V.; Salah-Omer, E.; Jambreković, V., 1998: Certification and quality Attestation of woodbased panels. 1st International Conference "A Perspective of Woodworking-Industrial System in Bosnia and Herzegovina", Proceedings 183-193, Bihac.
3. Hägglund, B.; Beckeman, C.G.; Björnberg, C.G.; Borgström, B.; Härmälä, E.; Presas, T.; De Jaeger, F.; Hufnagl, N.; Gädda, L.; Birot, Y.; Sahi, A., 2005: A technology platform initiative by European forest-based sector, Vision 2030. Brussels: CEI-Bois, CEPF, CEPI, European Commission.
4. Jambreković, V., 2003: HRN EN norme za drvene ploče. Tehničko usklađivanje na putu prema Europskoj uniji. Hrvatski inženjerski savez, Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 337-344, Zagreb.
5. Jambreković, V., 2004: Drvene ploče i emisija formaldehida, Šumarski fakultet, Zagreb.
6. Jambreković, V.; Antonović, A.; Medved, S., 2005: Quality of particleboards for the production of furniture and interior decoration. Furniture and equipping of interiors, Faculty of Forestry, University of Zagreb, 111-116.

#### Corresponding address:

Assoc. Prof. VLADIMIR JAMBREKOVIĆ, Ph.D.

University of Zagreb, Faculty of Forestry  
Department of Wood Technology  
Svetošimunska 25  
10000 Zagreb, Croatia  
e-mail: vladimir.jambrekovic@zg.htnet.hr

# **DRVNA INDUSTRIJA**

**ZNANSTVENO-STRUČNI ČASOPIS ZA PITANJA DRVNE TEHNOLOGIJE  
SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL JOURNAL OF WOOD TECHNOLOGY**

Izdavač: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet

Glavni i odgovorni urednik: prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić

Adresa: Svetošimunska 25, HR-10000 ZAGREB

tel. +385 1 235 2430

Časopis je dostupan na Internetu <http://drvnaindustrija.sumfak.hr>

Drvena industrija je jedini hrvatski znanstveno-stručni časopis za pitanja drvne tehnologije. Već 62 godine objavljuje izvorne znanstvene, stručne i pregledne radove, prethodna priopćenja, izlaganja sa savjetovanja, stručne obavijesti, bibliografske radove, preglede te ostale priloge s područja iskorištavanja šuma, biologije, kemije, fizike i tehnologije drva, pulpe i papira te drvnih proizvoda, uključivši i proizvodnu, upravljačku i tržišnu problematiku u drvnoj industriji.

Časopis izlazi kvartalno.

Godišnja pretplata u Hrvatskoj na časopis "Drvena industrija" iznosi 300 kn,  
a 100 kn za đake, studente i obrazovne institucije.

Uplata na žiro račun 2360000-1101340148 s naznakom "za Drvnu industriju".

**PRATITE HRVATSKU ZNANOST  
PRIHVATITE STRUČNE INFORMACIJE  
PRIMAJTE REDOVITE STRUČNE OBAVIJESTI  
PRENESITE SVOJU PORUKU**

Drvena industrija objavljuje i stručne priloge i informacije kojima proizvođači strojeva, opreme, uređaja i repromaterijala mogu redovito obavještavati tehnološki i rukovodeći kadar u hrvatskim drvnoindustrijskim poduzećima o ponudi svojih proizvoda.  
Sve informacije na adresi redakcije.



# TRENDŌVI U DIZAJNU NAMJEŠTAJA I OPREMANJU PROSTORA 2011.

Siječanj u Kölnu...

Što očekivati od prvog mjeseca u godini u ovome povijesnom njemačkom gradu nego zimu i sivo nebo, probijanje kroz gužvu, led i snijeg... No da siječanj u Kölnu ne bude takav, grad se sa svojim najpoznatijim sajmom – međunarodnim sajmom namještaja (International MöbelMesse), popularnim IMM-om, već uistinu tradicionalno trudi dobrom organizacijom i ponuđenim sadržajima. Blještavilo, izuzetna organiziranost, toplina paviljona i odlična, gotovo uzavrela atmosfera u kojoj inovacije, dizajn i noviteti „pršte“ iz svakog kutka i gotovo sa svakog štanda...

Od 18. do 23. siječnja domaćini su ponovo pokazali svoju fleksibilnost, njemačku organiziranost i preciznost, dinamičnost i svojevrsno olakšanje u naziranju boljih dana koji će polako izbrisati pojam „recesije“. Na raspolaganju oku i koracima ove je godine bilo oko 286 000 m<sup>2</sup> površine, što je, unatoč prošlim kriznim razdobljima, ponovno potvrdilo tezu da je kölnski sajam jedan od najgrandioznijih u svijetu.

Zabilježeno je više od 138 000 posjetitelja iz 128 zemalja. Poslovno ili privatno, moglo se posjetiti 1 213 izlagača iz 48 zemalja (ako se osvrnemo na prijašnje godine, sjetit ćemo se da su 2010. izlagale 1 053 tvrtke iz 51 države, dok je ne tako davne 2000. zabilježeno 1 539 izlagača iz 47 zemalja).

Prije nekoliko godina, od kada je *imm cologne* usvojio način izlaganja prema oblikovnim i konotativnim temama (pure, smart itd.), izlagači s još većom ozbiljnošću predstavljaju svoje proizvode. Snaga konkurencije, ali i činjenica da više nema „masovnog ukusa“, nagnali su ih da marketinškim adutima (koji su poprilično izostali posljednje dvije krizne godine), poput različitih performansa, izuzetno educiranog osoblja, CD-ova i kataloga te drugoga promidžbenog ma-

terijala (maštovitih lopti, balona, blokova za pisanje, olovaka...) ponovno privuku vašu pozornost, i to snažnije nego lani. „Zatvorenost“ štandova visokim pregradama od stakla, furnira, tankih letvica, aluminijske ili tkanine budila je znatiželju da istražite „što se sakriva iza paravana“. Uz ulaznicu – vašu podsjetnicu, uvukli su vas u novi svijet individualnih eksponata ili cijelih ambijenata... Od stilskega ili ladanjskog ugođaja, do virtualnog futurizma. Osim izlagačkih štandova, pozornost su plijenile i brojne izložbe i izloženi eksponati u prolazima između paviljona (sl. 1).

## UNUTRAŠNOST DOMA I EMOCIJE U PRVOM PLANU

Još prije nekoliko godina na sajmovima, a samim time i u domovima, gledali smo velike ormare, nepomične naslonjače i teške blagovaoničke vitrine. Međutim, stilovi koji su unijeli dizajnerski duh i lakoću u svaki proizvod danas su nezamjenjivi element na svakome izlagačkom štandu, čime se uvlače i u naša četiri zida. Proizvodi svjetskih proizvođača namještaja i prateće opreme vidljivo su se oslobodili doktrina i standardizacije. To je pridonijelo usponu stila interijera koji zovemo *new German Glücklichkeit*. Njegova je težnja pomiriti smirujuće s razigranim – razvoj potiče i činjenica da ljudi žele svoje domove kao odraz svojih višestrukih osobnosti. Sređivanje prostora unutar vlastita četiri zida toliko je *in* da graniči s „elitizmom“. U prošlosti je jastučić s čipkom izvezenom bakinim rukama bila jedina opcija, ovih dana to je samo jedan od 30 različitih varijanti dekorativnih jastuka, koji pokatkad uopće nema zadaću udobnog naslanjanja, već samo dekorativnu ulogu. Nikad prije viđen raspon različitih jastuka, tapeta, dodataka i tepiha snažna je potpora *dekorative*. Stoga je i na *imm cologneu* 2011 prikazan velik broj proizvoda iz bogate kategorije „dekorativni dodaci i oprema“ (sl. 2). Ipak, namještaj je bio pravi „junak“ dizajna interijera, i uvijek će to biti.

Ambijentalnost i moto „osjećati se kao kod kuće“ bili su i ovogodišnji trend. Uniformiranost je definitivno *passee*. Prošla je era kraljeva koji su stoljećima gradili masovni ukus (stil) svojih podanika. Danas živimo u raskoši različitoga, a novo stoljeće obilježavamo definitivnom glorifikacijom novoga „njegova visočanstva“ – individualnog kupca i njegova individualnog ukusa.

S obzirom na to da su ukusi različiti (i o njima se ne raspravlja), pojavljuje se problem kako zadovoljiti ukus. Odgovor je i ove godine bio u tzv. ambijentalnoj individualnosti.



Slika 1. Atmosfera na *imm cologneu* 2011.





**Slika 2.** Ambijentalno opremljen interijer s pregrštom dekorativnih elemenata (rasvjeta, jastuci, zavjese, prekrivači...), pravi zimski ugođaj, *imm cologne* 2011.

Čvrste linije i “ukočene” vitrine definitivno su prošlost. Novi stil življenja, dinamičan i fleksibilan, zahtijeva i fleksibilna rješenja u opremanju interijera. Problem se rješava modularnim sustavima namještaja. Individualni elementi jednostavno se slažu jedni na druge, gradeći ormare i otvorene police, lako složive za potrebe preseljenja... (sl. 3).

Namještaj je u horizontali, bliže podu, kao znak veće slobode (sl. 4). Sve je pomično, fleksibilno, jednostavnih oblika, transparentno u volumenu i formi, na kotačima... drveno i bijelo, s dodacima intenzivne crvene, plave i ljubičaste, limun zelene i žute boje.

Česta vanjska nepretencioznost i zatvorenost namještaja naglašava trend unutrašnjih vrijednosti, a



**Slika 3.** Jednostavnost i funkcija police *Shrink*; dizajn Nicola Zocca, [D<sup>3</sup>] Design talents, [D<sup>3</sup>] Contest



**Slika 4.** Ojastučena garnitura S-Tate: sve bliže podu; proizvođač *Bretz*



**Slika 5.** Visoka kvaliteta proizvoda izražena detaljima, *green* dizajn i održivost; detalj komode *Rational*; proizvođač *Cult*

nezaobilazna kompjutorska i komunikacijska tehnologija integrirana je u unutrašnjost namještaja punu iznenađenja. Ključna je riječ funkcionalnost. Oblik proizvoda kupcu se može “svidati” ili ne, što ovisi o ukusu i životnoj filozofiji. No funkcionalnost čini određeni proizvod “nužnim” u kućanstvu. Uz funkcionalnost, osobito su traženi kvaliteta proizvoda, koja se očituje u cjelovitoj izradi i, poglavito, obradi detalja, te racionalan, ekološki (*green*) dizajn i trajnost primjenom odgovarajuće sirovine (sl. 5).

Dom je život, a život je promjena. Stvari kojima se okružujemo moraju se prilagoditi našim potrebama i težnjama. Kada je riječ o interijeru, uvijek su se događale promjene – neke spore, druge brže, neke trajnije, druge koje su nestajale jednako brzo kao što su i dolazile. *Ili-ili* model iz prošlosti zamjenjuje se nedvosmislenim *sve prisutno* pristupom. Sve prolazi, sve je promjenjivo, pa ni interijeri nisu iznimka.

#### DOLAZEĆI TRENDOVI U INTERIJERIMA

*Svidati se* ili *nesvidati se* problem je koji već godinama muči brojne proizvođače, novinare, ali i same korisnike, koji ostaju zbunjeni pred navalom različitosti svih ponuđenih proizvoda. Upravo je to prije nekoliko godina bio razlog okupljanja stručnjaka različitih područja, kako bi *sviđanje* pretvorili u emocije, potrebe i prihvatljivost za individualni način života. Ujedno, stručnjaci su u to sviđanje uključili trendove, i to na razumljiv, a opet različiti način, kako bi publici jednostavno i kompaktno predstavili viziju budućnosti, barem do iduće godine.

Slika 6. Detalj radionice *The Interior Trends 2011*.Slika 7. Toplina i emocije, *Emotional Austerity*Slika 8. Nove tehnologije i materijali, *Surprising Empathy*Slika 9. Spoj funkcionalnoga, jednostavnoga i autohtonoga, *Re-balancing*

Koji će trendovi prevladati u ovoj godini – pitanje je koje zanima svakog proizvođača, distributera i kupca. Vizionarski zadatak definiranja trendova nije nimalo jednostavan, ako se uzme u obzir brzina promjena na globalnom tržištu, zahtjevnost kupaca glede zadovoljavanja vlastitih navika, ukusa i potreba, kao i individualnost naglašena na svakom koraku. Novonastale vrijednosti u društvu, koje danas više ne možemo definirati isključivo kao trendove, ostavljaju prostora za nekolicinu različitih stilova, oblika i pojavnosti koje zbunjuju sve sudionike.

Zadatak internacionalnoga stručnog povjerenstva (*trendboarda*) sastavljenoga od pet profesionalaca s područja dizajna namještaja, dizajna tekstila, novinara i savjetnika za dizajn iz različitih zemalja na ovogodišnjoj je radionici (*workshopu*) bio definirati i predstaviti dominirajuće vizionarske smjerove koji oblikuju suvremeno okruženje (sl. 6). Izdvojena su četiri glavna trenda: *Emotional Austerity* (sl. 7), *Surprising Empathy* (sl. 8), *Re-balancing* (sl. 9) i *Transforming Perspectives* (sl. 10). U idućem razdoblju ti će smjerovi označavati obilježja proizvoda i biti sadržani u namještaju i stambenom prostoru.

Koji god stil prevladao, jedno je sigurno: domovi postaju ljudima sve važniji. Danas ćemo oko 90 % svog

vremena provesti u zatvorenom prostoru. Nove studije pokazuju da dom postaje žarište našega društvenog života i sve više zamjenjuje posjete pubovima i restoranima. Komunikacijski alati kao što su smartphone, netbook i računala, naravno, pridonose trendu povlačenja unutar vlastita četiri zida. Ali bez osobnih kontakata, bez



**Slika 10.** Jednostavne forme i kompleksno eksperimentalno razmišljanje, *Transforming Perspectives*



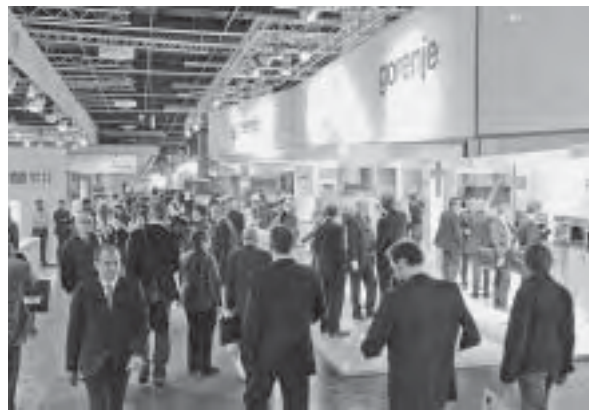
**Slika 11.** Jednostavnost koja opčinjava, *Easy Pieces*; proizvođač *Brühl*

posjeta prijatelja koji dolaze podijeliti s vama ukusni obrok ili pogledati utakmicu život jednostavno nije potpun. A ako ćete toliko vremena provoditi kod kuće, želite mjesto koje je „dobro za dušu“.

Traže se višefunkcionalni proizvodi, koji na minimalnoj površini ionako malih stanova osiguravaju maksimalnu udobnost. Stolovi u nekoliko poteza od niskih u dnevnom boravku prelaze u stolove za kojima se jede, a isti prostor pretvara se u blagovaonicu. Dvosjedi se pretvaraju u trosjede, nasloni čine dodatne sjedeće plohe koje se u jednom pomaku pretvaraju u plohe stola... S druge strane, jednostavni funkcionalni elementi, bez pretencioznosti i skrivanja, otvoreni su pogledu i jednostavnoj funkciji (sl. 11).

### Living Kitchen

Ove su godine na *immu* kuhinje bile pravi hit. Paviljoni objedinjeni pod *Living Kitchen* nadmašili su energijom, performansima, oblicima i bojama, ali i gužvom (sl. 12). Dinamičnost i profesionalnost temelji su današnjih kuhinjskih prostora. Točnije, profesionali-



**Slika 12.** Atmosfera u paviljonu *Living Kitchen* 2011.



**Slika 13.** Jednostavnost i čistoća oblika: kuhinja *Esprit*; proizvođač *Alno*

zacija je trend koji je odavno stigao u domove, osobito u kuhinje. Tijekovi rada mogu se optimizirati smislenim postavljanjem namještaja u prostoru, a rasvjeta je usmjerena na osvjetljavanje radne ploče i prostora za blagovanje. Kada su u pitanju električni uređaji ili tzv. bijela tehnika, energetska je učinkovitost glavna tema. Sve veći broj potrošača postaje svjestan potrebe očuvanja energije i vode, djelomice zato što je to korisno za novčanik, ali i zato što je korisno za okoliš. Energetski učinkoviti i tihi kuhinjski uređaji bit će norme sutrašnjice. Oblikovno, kuhinje se pomiču prema jednostavnome, skromnome i funkcionalnom dizajnu (sl. 13). Jednostavno znači elegantno i nenametljivo – vrsta stila koji nikad ne dosadi. Najnoviji trend u kuhinjskom prostoru jesu otvorene police i mnogo stakla na vratima ormarića, radnim površinama i zidnim pločicama. Live-in kuhinja najuvjerljiviji je dokaz da se različita područja kuće ujedinjuju, a očekivanja ljudi glede interijera mijenjaju se.

### NOVI PROIZVODI I TRENDOWI ZA 2011.

Kao i prethodnih godina, Udruženje njemačkih industrija namještaja (*Verband der Deutsche Möbelindustrie*) provelo je ankete među izlagačima *imm cologne* 2011. Najvažniji trendovi i tendencije u namještaju i uređenju interijera za novu, 2011. sezonu opisani su u nastavku.

### Održivost putem efikasnosti resursa

U načelu, dobar dizajn i dobra kvaliteta prioriteta su za svaki novi komad namještaja. Oba su faktora ulaznice za tržište. "Održivost" postaje sve važniji čimbenik kvalitete. Očita je sve veća potražnja masivnoga drvenog namještaja, a prodajno će osoblje sve češće biti pitano koji su materijali upotrijebljeni za određeni komad namještaja. Takav odnos potrošača proizlazi iz odnosa prema zdravlju. Stoga ne iznenađuje da iskrenost o upotrijebljenim materijalima ima sve veću ulogu u proizvodnji namještaja. Ljudski pristup zdravlju postaje sve više holističan. Unatoč načinu na koji naša civilizacija napreduje, ili možda upravo zbog toga, shvatili smo da dobrobit proizlazi iz tijela i duše. Ljudi žele organski uzgojenu hranu, utječu se prirodi u slobodno vrijeme i teže održivosti robe široke potrošnje. Nalazimo se na polaznoj točki "zelene" ludosti.

### Boje

Bijela će ostati najpopularnija i trendi boja za namještaj. Ona se može kombinirati s bilo kojim drugim bojama i materijalima, povučena je, gotovo neutralna, u tonovima od mlječno bijele do boje bijele kave. Za sve one koji nisu ljubitelji strukture drveta, bijela se boja kombinira s crvenim, plavim, zelenim ili ljubičastim detaljima. Uz toliko bijele, ekspresivno čiste boje koriste se za naglašavanje pomoću jastuka, dodataka ili zidova oslikanih snažnim nijansama. Retro uzorci, trenutačno dostupni na dizajnerskim tapetama, ili drugi šareni uzorci jednako se dobro uklapaju u bijeli namještaj. Moto: ne bojte se boja, dokle god je kombinacija ugodna! Kada je riječ o jednobojnim pokrivenim tkaninama, sve su plave nijanse osobito popularne, kao što je i širok spektar prirodnih nijansi, koje su također veoma tražene za namještaj za pohranu stvari te za kuhinjske ormariće. Povremeno, 1970-e oživljavaju s nijansama narančaste i jabuka-zelene. Konačno, crna, klasika 1980-ih, označava svojevrsan povratak u segmentu ojastučenog namještaja, za što je primjer i tvrtka *Koinor* (sl. 14).

### Uzorci

Pruge, cvjetni uzorci, apstraktna grafika... u smislu uzoraka i tkanine za ojastučenja nude izuzetnu raznolikost. Mnoge su tkanine grubog tkanja ili reljefnih tekstura koje šalju neodoljiv poziv za sjedenje, ležanje



Slika 14. Crno je i dalje in: ojastučena garnitura tvrtke *Koinor*



Slika 15. Tkanine za ojastučenja, ležajeve ili zavjese; proizvođač *Nya-nordiska*

i odmor. Zavjese nerijetko prate stil ojastučenja (sl. 15). Udobnost je i dalje vrlo važna.

### Površine

Jaka je tendencija prema iskrenosti materijala. A kad je riječ o iskrenosti, prirodni su materijali najbolji. Od materijala dominiraju drvo, staklo, keramika, kamen određeni metali kao što su nehrđajući čelik i lakirani MDF u visokom sjaju. U idućoj sezoni staklo će biti popularan materijal za pročelja i vrata kuhinjskih ormarića, regala i ormara. Tražit ćemo debelo staklo za gornje plohe stolova i mat staklo za prozirna vrata ormarića. Kamen se rabi za radne površine. Plemeniti materijali čija je površina ugodna na dodir doživljavaju procvat. Koža će također imati važnu ulogu u sljedećoj sezoni kad je riječ o namještaju, najčešće kao pokrov za ojastučeni namještaj, naravno, ali i kao umetak za ladice ili ploče stolova. Moderno je naglašavanje jednog zida bojom, svjetlošću ili tapetom (sl. 16), kao i uvećanom fotografijom određenog materijala ili apstraktnog motiva odnosno materijalom koji će naglasiti reljefnost zida - kamen, drvo, keramika.

### Drvo i dalje hit

Dobri stari hrast doživljava pravi procvat. Bilo da se od njega izrađuju stolovi (sl. 17), kreveti ili komode, hrast je moderan u prirodnoj, svijetloj boji i više se ne boji u tamne nijanse. Od njega se izrađuje namještaj za dnevne boravke, spavaće sobe, kuhinje, a odlično se kombinira sa svim ostalim materijalima i bojama. Površine su glatke, sjajne ili mat i reljefne, te se



**Slika 16.** Tapete su ponovno u modi; proizvođač *Nya-nordiska*

međusobno kombiniraju stvarajući zanimljive igre na površinama. Orah će zadržati svoj važan status. On zrači dojmom vrijednosti i elegancije (sl. 18). Visokokvalitetna trešnja u osjetljivim, crvenkastim nijansama ima istaknutu ulogu. Upotreba domaćih vrsta drva postaje kupcima sve važnija. Svjetlije boje spektra i dalje podrazumijevaju bukvu, javor, jasen, johu i brezu.



**Slika 17.** Hrast je ponovno hit: blagovaonički stol kao detalj trenda *Emotional Austerity*



**Slika 18.** Tamna orahovina u kombinaciji s bijelom kožom i sjajnim metalom uvijek djeluje elegantno, makar je riječ i o jednostavnim proizvodima



**Slika 19.** Drvo kao vječna inspiracija: neobična sjedalica Barca; proizvođač *Conde House*

Drvo je i dalje vječna inspiracija za neobične oblike, pri čemu je i te kako nužno poznavati svojstva pojedinih vrsta drva (sl. 19).

### Rasvjeta

Svjetlost simbolizira život, toplinu i nadahnuće, stoga nije čudno da svjetlo i rasvjeta imaju važno mjesto u dizajniranju namještaja. Noviteti u shvaćanju filozofije svjetlosti odražavaju se u krajnjoj upotrebi. Zrake svjetlosti više se ne koriste u obliku direktnog osvjetljavanja



**Slika 20.** Lebdeći svjetleći elementi kao funkcija i dekoracija u prostoru, *imm cologne 2011*.

predmeta. Svjetlo postaje integrirajući element, novi materijal u stvaranju nove dimenzije prostora (sl. 20).

Pitanje upotrebe novog materijala nameće i pitanje koliko novi mediji doista uobličuju novu estetiku. Danas se u pokušaju odjeljivanja materijalnoga od nematerijalnog svijeta još više pletemo u mrežu neodvojivoga "stvarnog" svijeta i virtualne stvarnosti.

Žarulja polako nestaje iz domaćinstva, a zamjenjuje je LED svjetiljka. LED diode imaju prednost da su energetske visokoučinkovite, ne postaju vruće i dugo traju. Kao rezultat toga, industrija namještaja sve se više koristi LED diodama, na primjer, u vitrinama, za rasvjetu polica i ormara ili za rubove bočnih stranica. LED diode su i popularni dodaci. Dobra rasvjeta i energetske učinkoviti izvor svjetlosti – često skriven a svijetli poput čarolije – top su trendovi koji će, čini se, ostati.

Izobličene boje, jako i neurotično svjetlo, pokret, blještave i treperave pojave ... sve su to sadržaji današnjice. Tome se traži opozit, promjena naših vizualnih navika. Novi virtualni model jedna je od bliskih mogućnosti. Uz pomoć svjetla ulazimo u područje lebdećega i planetarnoga... Možda je zato svjetlosni i virtualni model uključen u trend korištenih materijala i u proizvodnju namještaja i rasvjetnih tijela.

### **OBLIKOVANJE STAMBENOG PROSTORA – VODILJE U 2011.**

U prostorima stana prevladava individualnost i umjerena decentnost bijele ili crne, s naglašenim detaljima drva. Prostori se povezuju u jedinstvene cjeline, nema jasno naznačenog prijelaza između npr. dnevnog boravka – blagovaonice – kuhinje. Kuhinje su samim time postale prošireni prostor i stilska poveznica



**Slika 21.** Elegancija i profinjenost blagovaoničkog namještaja u kombinaciji crne kože, metala i drva; proizvođač *Koinor*

ca s ostalim prostorima. Minimalizam u oblikovanju doveo je do još većeg naglaska na materijalima i njihovim kombinacijama.

Blagovaonice su elegantne, stolovi su stakleni, sa skulpturalnom nogom, drveni ili čak kameni (sl. 21). Dekorativna središnja noga, umjesto rubnih, sve je češća, pa cijela kompozicija sa stolicama ostavlja dojam profinjenosti. Stolice su nižih naslona, vrlo često u kombinaciji s drvom ili šupljikavim, čipkastim strukturama. Klupa je kao sjedeći element sve češća u blagovaonicama. Taburei (hoklice) sveprisutni su. Udobni su, neobičnih oblika i boja, u kombinaciji materijala (koža, drvo). Smještaju se uz sjedeću garnituru i u kut prostora, što mu daje šarmantan identitet.

Tepisi su najčešće reljefni, s apstraktnim krupnim ili sitnim motivima, ili pak čupavi, s dugim nitima. Zavjese su pastelnih tonova, najčešće reljefne ili potpuno neutralne.

U spavaćim sobama još uvijek dominira naglašeno uzglavlje, tapecirano, metalno, drveno ... ali su linije mekše, blago zaobljene. Ormari su jednostavni, najčešće jednobojni ili obogaćeni zrcalima ili detaljem od drugog materijala koji u kombinaciji stvara geometrijske elemente. Dominiraju svijetle boje, od mliječno-bijele do boje bijele kave ili drva. Pojavljuju se zanimljivi mehanizmi otvaranja kojima se štedi prostor i omogućuje bolju iskorištenost.

U kupaonicama je također vrlo česta upotreba LED rasvjete, i to u samom elementu ili oko zrcala. Kombiniraju se horizontalni viseći bazni elementi s vertikalnim i horizontalnim elementima iznad njih, kao i u dnevnim boravcima. Slavine i tuševi su elegantni i praktični te ugrađeni u zid (sl. 22), a zanimljivo je da se kade sve češće smještaju u spavaće sobe.

Dječje su sobe, kao i uvijek, vesele. I u njima je sveprisutna LED rasvjeta, igra materijalima i bojama. Višefunkcionalnost elemenata, osobito kreveta, vrlo je naglašena, od prostora za učenje, dodatnog ležaja do mini dnevnog boravka. Rasvjetna su tijela i dalje velika i vrlo naglašena u prostoru, a svjetlosni efekti nezostavan dio svakog prostora u domu.

### **MEGATRENDOVI UTJEČU NA NAČIN ŽIVOTA**

Pitanje se postavlja *ŠTO* i *ZA KOGA* oblikovati? Nije problem *KAKO*, već *ZAŠTO*? Koji kupac želi pla-



**Slika 22.** Elegancija i jednostavnost u kupaonici: sustav ATT; proizvođač *Dorn Bracht*

titi "individualno" u masovnoj serijskoj proizvodnji? Je li rješenje ipak u kompjutorskoj proizvodnji i savršeno izrađenim detaljima u ručnoj doradi?... Kolika je onda cijena takvog proizvoda? Za koji segment tržišta i ciljnu grupu treba proizvoditi? Uistinu, koliko su marketing, informacija, inovativnost i dizajn važni (strateški i filozofski) određenoj tvornici namještaja i njezinim rukovodnim kadrovima.

Novo je tisućljeće svjedočilo pojavi novih društvenih, ekonomskih i političkih pitanja koja vrlo snažno utječu na ljude. Društveni megatrendovi kao što su individualizacija, težnja za očuvanjem zdravlja, promjenjive obiteljske strukture, demografske promjene i globalizacija također utječu na industriju. Ovih dana opremanje doma znači razbijanje starih, tradicionalnih granica stavljanjem televizora u kuhinju, pretvaranjem stola za blagovanje u komunikacijski centar, stavljanjem kade u spavaću sobu. Sobe se spajaju jedna s drugom. Područja za „kuhanje – blagovanje – boravljenje“ postaju jedno, dok se "spavaća soba i kupaonica" postupno ističu. Stari se namještaj kombinira s novim, zimski su roštilji održiv prijedlog, a hodnik se može pretvoriti u disk.

Takva „tiha“ pitanja mogla su se čuti na kölnskom *immu* a ona su sve važnija ne samo za svjetske proizvođače namještaja, ekonomiste i dizajnere, već su i te kako aktualna i na našem, hrvatskom tlu.

Sve u svemu, "nestajanje granica" vrlo je dobar opis novog trenda. U prošlosti, ljudi su se pitali što pripada dnevnom boravku. Konkretno, ovih dana na *immu* pitanje je glasilo: *Što želim staviti u svoju dnevnu sobu? Što želim da to govori o meni?* Uz sve tehnološke i dizajnerske novitete, opći je dojam da ekologija i održivost imaju važno mjesto u oblikovanju novih trendova za budućnost, kao i sve veća veza između dizajna i tehnologije radi što jednostavnijega i ugodnijeg boravka u vlastitom domu.

To su granice kojima ćemo se baviti u budućnosti.

Ukratko, mogli bismo izdvojiti sljedeće trendove za 2011. godinu.

### Što ostaje u trendu

- Bijela ostaje glavna boja tkanina za ojaštavanje i vidljivih površina korpusa
- Dnevni boravak s velikim LCD monitorom te dugačkim, visokim i niskim ormarićima
- Kuhinja – blagovaonica – dnevni boravak spojeni u jedan životni prostor
- Namještaj je izuzetno obrađen sa svih strana i samostalno stoji u prostoru
- Dominiraju čiste, jednostavne boje obložnih tkanina; šarene pruge ili apstraktne grafike su popularan izbor za naglašavanje
- Podesivi ojaštani namještaj prema individualnim potrebama
- Tzv. *walk-in* garderobni prostori
- Rokoko ornamenti i svileni detalji
- Kamini koji „griju“ na bioalkohol
- Udobne blagovaoničke stolice i pravokutni stolovi
- Vanjske kuhinje i prostori za tuširanje
- Bijela tehnika koja štedi energiju

### Što ulazi u trend

- Privatne spa oaze između kupaonice i spavaće sobe
- Tamno drvo (orah) u kombinaciji sa staklom i čelikom
- Nanopremazi na površinama
- Unikatan i izuzetno obrađen green design namještaj
- Prirodni tonovi i jarke boje, osobito plava
- Pokrivne tkanine na ojaštanom namještaju, po uzoru na „bakin stil“ prepun cvjetića i ručnog veza
- Koloristički akcenti pojačani LED rasvjetom u kuhinji, ormarima i garderobi; većinu garderobnih ormara, regala, bočne stranice i vitrine ispunjava ta štedna rasvjeta s dvije funkcije: svjetlošću i atmosferom
- U segmentu kože posebno je popularna gusta, je-dva obrađena prirodna koža s opipljivim „poziva-jućim“ karakterom.
- Dnevna soba kao privatni prostor – dominiraju mir i masažne fotelje
- Vrtni namještaj nalik na onaj u dnevnom boravku
- Održivost ima sve važniju ulogu u izradi namještaja. Drvo postaje popularnije, ne samo za kuhinjski namještaj i namještaj za pohranu, već i za udobne stolice i ležaljke te kao vidljivi dio naslonjača. Drvo vraća svoj prijašnji status u proizvodnji namještaja. Udarni razvoj: mnogo je stvari od neobrađenog hrasta, katkad čak i s korom. Hra-stovina ponovno postaje hit!

Danijela Domljan, magistrica dizajna  
prof. dr. sc. Ivica Grbac



# OSVRT NA IMM COLOGNE 2011 - PAVILJON SLEEP BUDNIJI NEGO IKAD

Paviljon *Sleep*, od prije par godina posvećen isključivo „spavačima“, ove je godine bio budniji nego ikada. I, naravno, nudio tople, mekane snove...

Paviljon *Sleep* ove je godine na *immu* izložio brojne novitete, unatoč krizi i recesiji koja je posljednjih nekoliko godina zahvatila i tržište *spavača*. Primjer je tvrtka *Frolexus*, koja svake godine izloži poneki novitet. Ove je godine lansirala novi krevetni sustav *Koala* (sl. 1).



**Slika 1.** Novi model krevetnog sustava *Koala*; proizvođač *Frolexus*, *imm cologne* 2011.

Ipak, ne može se negirati činjenica da recesija još traje. Posebno je teška situacija među proizvođačima podloga te ležaja-madraca, osobito žičanih jezgri madraca, jer je poskupjela sirovina (ponajviše željezo), a proizvođači si nisu mogli dopustiti znatnije korekcije cijena. Primjer ulaganja u razvoj jest grupacija *Hilding Anders*, koja je u razvoj žičanih jezgri uložila oko 400 mil. eura.

Konkurencija u području zdravog spavanja danas je vrlo jaka, a dobre krevetne sustave nudi popriličan broj proizvođača i distributera. Svaka tvrtka želi napraviti nešto novo po čemu će biti prepoznatljiva i želi pridonijeti boljem spavanju. Razvoj i istraživanja na tom području sve su jači i značajniji, ponajviše za polagan, ali kontinuiran razvoj svijesti pojedinca o značenju zdravog sna. Velik broj znanstvenika danas istražuje problematiku spavanja te nastoji krevetni sustav što bolje prilagoditi krajnjem korisniku. Rezultati su i te kako očiti, i to u svim segmentima krevetnog sustava, bilo da je riječ o termoprovodljivosti, elastičnosti, zdravim materijalima, vlazi, zapaljivosti i brojnim drugim čimbenicima.

Tako je početkom listopada 2010. održan kongres EBIA (*European Bedding Industries' Association*) u Poljskoj, a glavne su teme bile zapaljivosti ležaja-

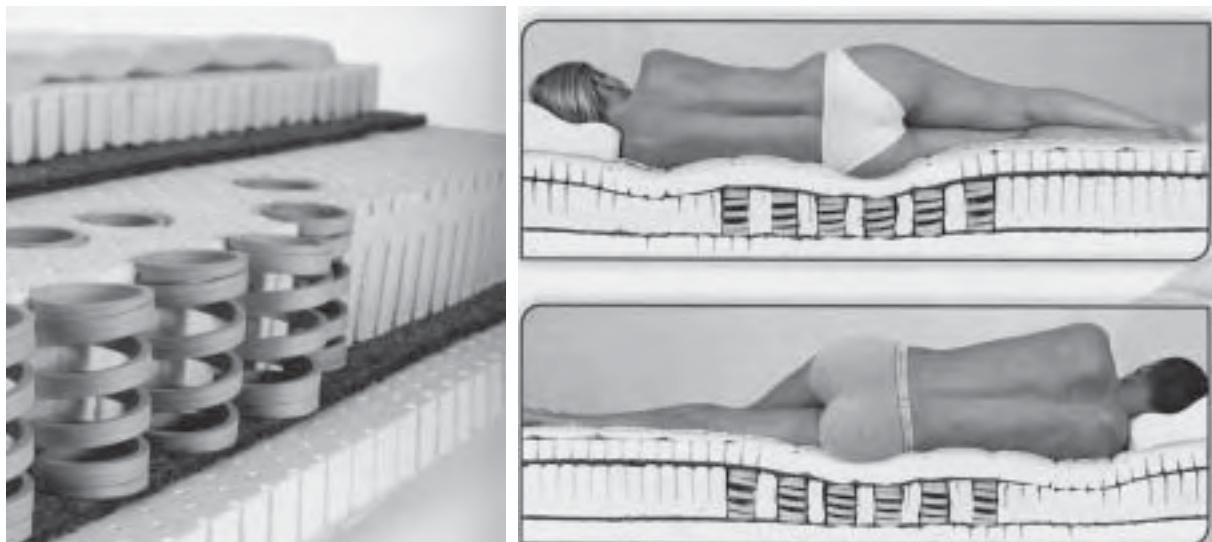
madraca i recikliranje podloga i madraca koji više nisu za upotrebu. Na kongresu je bilo 120 članova, znanstvenika i predstavnika proizvođača. Dvije bitne točke kongresa bile su kako proizvesti negorive ili sporo tinjajuće materijale koji su ekološki prihvatljivi i nisu štetni za zdravlje korisnika, te kako napraviti krevetni sustav koji se može reciklirati. Problem zapaljivosti dosta je dobro riješen, pa većina korištenog materijala nije zapaljiva već lagano tinja. I na području recikliranja proizvoda napravljeni su veliki pomaci, ali kada bi se sav proizvod u potpunosti mogao reciklirati, zaključak je da bi bilo izgubljeno mnogo radnih mjesta, o čemu također treba voditi brigu. Iznoseni su podaci da se u Europi godišnje proizvede oko 25 mil. ležaja-madraca te oko 12 mil. podloga. Najzastupljeniji su madraci s džepičastom jezgrom (oko 46 %), slijede ih madraci od spužve (37 %), dok su madraci od lateksa najslabije zastupljeni (14 %). Madraci od ostalih jezgri čine samo 2 % proizvedenih madraca.

## Unatoč krizi, izdvajamo nekoliko noviteta koji su ove godine zabljesnuli u paviljonu *Sleep*

To je drvo! Zahvaljujući već poznatoj žičanoj opružnoj jezgri u ležajevima-madracima, tvrtka *Bio-Tektima* razvila je novi sustav opruga od drva *VitalWood*. Iskustvo koje tvrtka posjeduje s obzirom na ručno proizvedene ležajeve-madrace, znanja iz psihologije, kao i potrebe za spavanjem te višegodišnja istraživanja i razvoj unutar tvrtke rezultirali su novom linijom opružnih jezgri od parene i kompresirane bukovine, koja se vraća u prvotni oblik i nakon 100-postotnog opterećenja. *Bio-Tektima* jamči da je životni vijek tih opruga trostruko dulji nego žičanih, što omogućuje čak tridesetogodišnju kontinuiranu primjenu tog sustava. Detaljno selektirana sirovina, kombinirana sa strukturalnim materijalima koji su razvijeni sukladno njihovim anatomskim uvjetima, osiguravaju superiornu zajedničku zaštitu pojedinih drvenih opruga unutar jezgre ležaja-madraca. Drvene opruge (sl. 2) smještene su u odgovarajuće zone ležaja-madraca te svojom elastičnošću, u kombinaciji sa spužvom, lateksom ili drugim materijalima, te ovisno o tipu ležaja-madraca, omogućuju optimalnu raspodjelu pritiska, elastičnost i termoprovodljivost, u konačnici – zdrav san.

U ovom primjeru, inovacija u opružnom sustavu, uz potrebu za zdravim okruženjem od prirodnih materijala, pun je pogodak. *VitalWood* nagrađen je prestižnom nagradom *Interior Innovation Award 2011* i bio je pravi hit na *immu*.





Slika 2. *VitalWood*, inovativni opružni sustav od bukvine; proizvođač *BioTekstima*

*Molekul* je novi proizvod (ležaj-madrac) tvrtke *ADA*, čiji se razvoj također temelji na znanstvenoistraživačkom radu (sl. 3). Površina tog madraca ima posebnu strukturu koja korisniku pruža osjećaj ugone, a bazira se na četverodimenzionalnoj molekularnoj strukturi površine. Poznato je da se spavanje tijekom noći dijeli na nekoliko različitih stadija, a znanstvenici su se s tim madracem posebno fokusirali na trajanje srednje dubokoga i dubokog spavanja. Izrađen je od antibakterijske hladno lijevane pjene koja ima zone za glavu, rame, kukove i stopala, a proizvod zadovoljava vrlo stroge uvjete Ökotex Standarda.

Tvrtka *Eurolatex* ove je godine lansirala novu generaciju lateks madraca koje su ispitne kuće vrlo dobro ocijenile. Neto masa madraca veća je od prijašnjih te je upravo taj kriterij smanjio ukupnu ocjenu koja je i dalje vrlo visoka.



Slika 3. Površinska struktura *Molekul* ležaja-madraca; proizvođač *ADA*

Tvrtka *Swissflex* već godinama radi na razvoju krevetnog sustava kao cjeline te tako nastupaju prema krajnjem korisniku. Zapravo, *Swissflex* je oličenje švicarske kulture spavanja. Promatraju se navike kupaca (spavača) za vrijeme spavanja i na temelju prikupljenih podataka odabiru se karakteristike pojedinih materijala ugrađenih u podlogu, ležaj-madrac i jastuk kao dio krevetnog sustava. Time je tvrtka već godinama vodeća po kvaliteti, funkcionalnosti i oblikovanju proizvoda, kao i po pristupu kupcu. Na *imm cologneu 2011*. *Swissflex* je lansirao novi sustav opruga, individualne aktivne i gibljive elemente *Synchro-Precision*, ugrađene u postojeće krevetne sustave *Synchro plus* i *Synchro*. No pravi je hit ove godine novi model *Uni 21*, koji je dobio i nagradu *Interior Inovation Award 2011*. Novi model podnica uistinu je vodeći sustav i pravi novitet. Temelji se na individualnom pristupu regulacije pojedinih zona pritiska i elastičnosti pojedinih letvica, te na manuelnoj, pneumatskoj ili električnoj pokretljivosti cijele konstrukcije podnice. Kombinacijom cjelovitog dizajna i primjenom inteligentnih tehnologija dobiven je cjelovito oblikovan sofisticirani proizvod (sl. 4).

Tvrtka *Schlaraffia* proizvela je novu generaciju madraca od hladno lijevane pjene s visoko-elastičnom dvoslojnom jezgrom *DRYFEEL*. Taj ležaj-madrac ima mogućnost održavanja dobrih klimatskih uvjeta u krevetu za vrijeme spavanja. Jezgra ležaja-madraca lako se prozračuje, a za promjenu ljetne i zimske strane madraca okreće se samo presvlaka madraca s dvostrukim patentnim zatvaračem pa nije potrebno okretati sam ležaj-madrac.

Tvrtka *Bavarija* lansirala je nove tekstilne materijale za presvlačenje krevetnih sustava. Proizvedene su tkanine sve kvalitetnije, a prošivene su pamučnim vlaknima radi veće čvrstoće i trajnosti.

Novitet je lansirala i tvrtka *Relax*. Riječ je o inovativnom sustavu podnica koje optimalno podupiru ležaj madrac i spavača (sl. 5).

Već nekoliko godina novina na tržištu je konstrukcija ležaja-madraca od „hladne pjene“. Fleksibilna jezgra od visokokvalitetne pjene u pojedinim točkama ima veliku elastičnost, čime osigurava opti-



Slika 4. Model Uni 21; proizvođač Swissflex



Slika 5. Novi sustav podnica; proizvođač Relax

malno podupiranje tijela a da se s vremenom pjena trajno ne deformira. Finu prilagodbu pojedinim dijelovima tijela pri tome preuzima podjela u više zona tvrdoće. Daljnji doprinos temi zdravog spavanja jesu higijenska svojstva takvoga madraca-ležaja. On je posebno prilagođen alergičarima. Kroz strukturu pora otvorenih ćelija spužvastog materijala ležaj se provjetrava, a vlaga na taj način brzo isparava.

Dakako, danas je asortiman ležaja-madraca vrlo velik i kupac se nalazi pred velikom dvojbom pri odabiru. Različite konstrukcije jezgri i obložnih materijala nude i različite mogućnosti i osobitosti, pa je dragocjen savjet stručnjaka: odabrati ležaj-madrac od lateksa, opružne jezgre, spužve, ispune vodom, zrakom ili dr.?

Uz već klasične elastične letvičaste podloge izrađene od bukova drveta u najmodernijim postrojenjima prema ekološkim i zdravstvenim načelima, pojavljuju se i podloge koje nazivamo podlogama 21. stoljeća, s pojedinačnim elementima koji imaju mogućnost točkastog podupiranja tijela, čime u svim položajima tijela podupiru kralježnicu u pravilnom položaju.

Veće mogućnosti upotrebe opružnih jezgri stvaraju se novim i modificiranim proizvodima. Bolja žica, nove tehnologije i rafinirani detalji obrade daju i novu kvalitetu. U suradnji s prerađivačima, pronalaze se nova rješenja, a s pomoću najmodernijih postrojenja proizvodi se racionalno. Tako više ne postoji klasična opružna jezgra već je tu paleta individualnih proizvođa-opruga prilagođenih specifičnim zahtjevima za komforom i mogućnostima daljnje uporabe.

Inovacija na području krevetnih sustava jest mrežasti okvir – kvalitetan proizvod na najvišoj tehničkoj



razini koji nema ništa zajedničko s „visećom mrežom“. Metalno pletivo sitnih očica, razapeto silom većom od dvije tone, točno prati konture tijela. Takva elastična podloga i na najvećoj površini omogućuje optimalno provjetranje, a time i optimalno odvođenje vlage.

Madrace uz takvu klimatsku podlogu nije potrebno okretati kao one na letvičastim podlogama.

Uz takvu podlogu mogu se kombinirati i različite vrste madraca: opružna džepićasta jezgra ili lateks po postupku *Talay*, dobar su izbor.

Usavršavaju se i konstrukcije vodenih kreveta. Danas se za izradu vodenog madraca-ležaja najčešće upotrebljava PVC bez kadmija, što je idealan molekularni sastav s obzirom na čvrstoću i starenje. Kvaliteta PVC-a je stalna zahvaljujući primjeni dva tipa plastifikatora. PVC je zaštićen i od stvaranja algi.

Ispunu jezgre vodenog madraca već dugo ne čini samo voda. Razvijena su razna rješenja koja poboljšavaju kvalitetu sna i odmora. Lumbalni podupirač potpuno uklanja točke pritiska, dok je mišićna napetost umanjena, a kralježnica savršeno ravna. Postoje i aktivni podupirači koji podupiru i najmanji dio tijela. Spirale također sprečavaju prebrzo upadanje tijela u madrac i stvaraju progresivan prijelaz u tom kretanju sve dok tijelo ne poprimi optimalan položaj. Nova tehnologija omogućuje da se proizvede najstabilniji madrac koji zadržava pravi osjećaj vodenog madraca, ali bez osjetnog ljuljanja. Kroz meku prihvatnu površinu tijelo ne upada duboko u vodu, već slijedi pravilnije i sporije kretanje. Ta formula pridonosi dodatnom smanjenju pritisnih točaka tijela, uz optimalno opuštanje mišića, te dvostrukom skraćivanju vremena uspavlivanja nego na uobičajenim vodenim madracima.

## JASTUK

Jastuk je neodvojivi dio svakoga krevetnog sustava. Pravilan položaj vratne kralježnice tijekom spavanja jedan je od čimbenika očuvanja funkcije (gibljivosti) vratne kralježnice i prevencije opterećenja njezinih struktura.

Dobrim odabirom jastuka može se djelovati preventivno, ali se mogu i smanjiti postojeće tegobe: bol u vratu, glavobolja, vrtoglavica, trnci u rukama. Prema istraživanjima i preporuci liječnika ortopeda i drugih specijalista, preporučuju se jastuci čija se visina može regulirati uz pomoć posebnih umetaka.



Slika 6. Jastuk; proizvođač *Metzeler*

Jastuk je još uvijek nepoznanica koju moraju zajednički riješiti stručnjaci različitih područja, jer se osim specijalista medicine u to moraju uključiti specijalisti ergonomije, materijala i drugi.

*Metzeler* je i ove godine prikazao novu liniju jastuka (sl. 6). Zahvaljujući različitim sastavima, dimenzijama i neobičnoj konstrukciji zračnih komora, spavaču je omogućena individualna prilagodba i odabir pojedinog tipa jastuka.

#### INDIVIDUALNOST JE GLAVNO POLAZIŠTE

Novi pristup koji još više približava proizvod individualnim potrebama korisnika ove je godine pokazala tvrtka *Fey & Co*. Naime, u svijest svih korisnika polako ulazi riječ *individualnost*, toliko važna za pravi-



Slika 7. Mjerni uređaj *Bodyscan*; proizvođač *Fey & Co*



Slika 8. Mjerna prostirka *Ergocheck* na Šumarskom fakultetu u Zagrebu

lan i odgovarajući odabir krevetnog sustava. Krevetni sustav *Bodyscan* lansiran je prošle godine, no prvi je put prezentiran na ovogodišnjem *immu* (sl. 7). Sustav se temelji na odgovarajućem odabiru krevetnog sustava individualnim mjerenjem spavača. Sustav sadržava odgovarajući skener koji infracrvenim zrakama bilježi konturu tijela i mjeri 13 potrebnih antropometrijskih značajki pojedinca. Sukladno konstituciji, odabire se poželjni krevetni sustav, počevši od podloge, tipa ležaja-madraca sve do jastuka, pri čemu su definirane poželjne vrste materijala i dimenzije novoga krevetnog sustava.

Sustav individualnog pristupa sve se više širi i u Hrvatskoj, pa tako već godinama Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu u svom Laboratoriju za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj pri Zavodu za namještaj i drvene proizvode obavlja individualna mjerenja i određivanja odgovarajućeg tipa ležaja-madraca uz pomoć sustava *Ergocheck*.

Osnova sustava *Ergocheck* jest mjerna prostirka (sl. 8). Ona je toliko tanka i elastična da ne utječe na svojstva ležaja-madraca. Istodobno je to visokoprecizni mjerni instrument koji ima 684 pojedinačne mjerne točke raspoređene na njegovoj površini. Svaki od tih malih davača mjernih vrijednosti očitava tlak čovjeka i ležaja-madraca na površini od nekoliko kvadratnih centimetara. Izmjerena se vrijednost primijenjenom tehnikom obrađuje u signale razumljive računalu.

Danijela Domljan, magistrica dizajna  
dr. sc. Ivica Župčić  
prof. dr. sc. Ivica Grbac

## Imm cologne

# IZDVOJENI KUTAK HRVATSKIH IZLAGAČA

Na Međunarodnom sajmu namještaja *imm cologne 2011.* u Kölnu od 18. do 23. siječnja 2011. predstavile su se tri hrvatske tvrtke iz drvoprerađivačke industrije koje se bave proizvodnjom namještaja. Predstavljanje hrvatskih tvrtki organizirala je Hrvatska gospodarska komora u suradnji s Upravom za drvenu industriju Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva. Na zajedničkom štandu površine 150 m<sup>2</sup> svoje su proizvode predstavili *Modo interijer studio d.o.o.*, *Prima namještaj d.o.o.* i *Mahagoni d.o.o.* (sl. 1), dok je dizajner Davor Silov iz dizajnerske tvrtke *Atmosfera* nastupio u paviljonu za inovativne proizvode. Na sajmu je također izlagala i tvrtka *DIN Novoselec*, u suradnji s dugogodišnjim njemačkim partnerom.

Njemačko je tržište već tradicionalno tržište hrvatskih drvoprerađivača. Hrvatska ima namještaj koji može biti konkurentan, a hrvatski hrast i proizvodi od hrvatske hrastovine prepoznatljiv su brend i zauzimaju važno mjesto na njemačkom tržištu proizvoda od drva, istaknuo je pomoćnik direktora Sektora za poljoprivredu, prehrambenu industriju i šumarstvo HGK Rajko Ružička na Međunarodnom sajmu namještaja *imm cologne 2011.* u Kölnu. Naglasio je kako već niz godina hrvatski proizvođači izvozom drva, drvnih proizvoda i namještaja na strana tržišta ostvaruju vanjskotrgovinski suficit, koji je u 2009. iznosio 100 milijuna USD.

Na svom se razvojnom putu osječka tvrtka *Modo interijer studio d.o.o.* prvi puta našla na najvećem saj-



Slika 1. Detalj štanda hrvatskih izlagača na *imm cologneu 2011.*



Slika 2. Detalj štanda hrvatskih izlagača: *PURE nature* tvrtke *Modo interijer studio d.o.o.*

mu namještaja u Kölnu, gdje su predstavili *PURE nature* proizvodni program namještaja od punog drva. Glavna svojstva proizvoda jesu izrada od masivnog drva, pretežito slavonskog hrasta, a završno su obrađeni biljnim uljima i lakovima na vodenoj osnovi (sl. 2).

Dojmove sa sajma prenio je i direktor tvrtke *Modo interijer studio d.o.o.*, gospodin Miroslav Mršo rekavši: „U prvih nekoliko dana izlaganja na sajmu postigli smo pozitivne reakcije ljudi iz branše namještaja i stvorili bazu podataka za kontakte na kojima ćemo u sljedećem razdoblju intenzivno raditi. Potencijalni partneri su iz različitih dijelova svijeta: iz Finske, Estonije, Rusije, Engleske, Japana itd. Na ovom smo sajmu uspjeli zaključiti i značajniji posao za nas, koji smo počeli pripremati nekoliko mjeseci ranije, tako da izlazak na sajam definitivno možemo ocjeniti uspješnim. Nadalje, u ovoj godini započinjemo kapitalnu investiciju izgradnje novog upravno-proizvodnog objekta u Dardi pokraj Osijeka, koji će biti opremljen potpuno novim tehnološkim parkom, pneumatskim prešama, kontaktnim brusilicama, a imat će i 5-osni CNC obradni centar za ozbiljnu proizvodnju, za ozbiljna tržišta. Jednako tako, u ožujku ove godine krećemo s proizvodima na američko tržište i, što je vrlo važno naglasiti, pod našim proizvodnim brendom.“

Danijela Domljan, magistrica dizajna  
prof. dr. sc. Ivica Grbac

# PARANA BOR

## NAZIVI I NALAZIŠTE

Parana bor ne pripada rodu borova (*Pinus* L), već botaničkoj vrsti *Araucaria angustifolia* O. Ktze. (*Araucaria brasiliana* A. Rich.) iz porodice *Araucariaceae*.

Strani nazivi su Brasilkiefer, brasilianische Araukarie, Paranakiefer (Njemačka); Pin du Parana (Francuska); Parana pine, Brasilian pine, Brazilian araucaria (Velika Britanija, SAD); pino del Parana (Italija).

Parana bor je autohtona vrsta u južnom Brazilu, Paragvaju i dijelovima južne Argentine. Osobito prevladava u državi Parana u Brazilu.

## STABLO

Stabla Parana borova slična su čileanskim borovima (*Araucaria araucana* K. Koch.). Dosežu visine od 24 do 37 m, s prosječnim prsnim promjerom 0,9 m, a pokatkad i 1,5 m. Debla su im uspravna, duga i bez grana do visine 15 m.

## DRVO

### Makroskopska obilježja

Drvo je jedričavo, svjetložutonarančaste do sivozute bjeljike. Srž je blijedo-smeđa, s tamnijim dijelom uz srčiku te sa širokim svjetlocrvenim trakama i mrljama. Često ima mnogo sitnih kvržica koje zajedno s crvenkastim trakama daju drvu privlačan izgled.

Parana bor je ravne žice, jednolične i zatvorene teksture. Godovi su jedva uočljivi, s malim kontrastom između ranoga i kasnog drva. Tekstura je slična drvu vajmutovca (*Pinus strobus* L.).

### Mikroskopska obilježja

Drvo je bez smolenica i aksijalnog parenhima. Traheide ranog drva poligonalno su spljoštene ili okrugle, dužine od 5,6...7,2...9,0 mm. Volumni udjel traheida je oko 95 %. Na stijenkama traheida ranog drva postoje dvije ili više velikih ograđenih jažica (najčešće tri). Drvni su traci visoki 1-15 stanica, homocelularni, jednoredni, sa stanicama glatkih stijenki. Volumni udjel trakova je oko 5 %. U polju ukrštanja može se naći 3 – 6, pa i više malih jažica. Aksijalni je parenhim rijedak ili ga nema.

### Fizikalna svojstva

Gustoća standardno suhog drva $\rho$	350...500...700 kg/m <sup>3</sup>
Gustoća prosušenog drva $\rho_{12-15}$	400...540...750 kg/m <sup>3</sup>

Poroznost	oko 67 %
Radijalno utezanje $\beta_r$	2,7...3,9...5,2 %
Tangentno utezanje $\beta_t$	4,7...6,4...8,3 %
Volumno utezanje $\beta_v$	7,4...10,3...13,5 %

### Mehanička svojstva

Čvrstoća na tlak	42,5...56,0...74,5 MPa
Čvrstoća na vlak, paralelno s vlakancima	87,5...136...185,5 MPa
Čvrstoća na savijanje	80...103...153 MPa
Čvrstoća na smik	8,5...12 MPa
Tvrdoća (prema Brinellu), paralelno s vlakancima	33...37...45 MPa
okomito na vlakanca	14...18...25 MPa
Modul elastičnosti	11,2...13,2...16 GPa

### TEHNOLOŠKA SVOJSTVA

#### Obradivost

Drvo se razmjerno lako strojno i ručno obrađuje, uz slabo zatupljivanje oštice alata. Lako se blanja. Materijal s kompresijskim drvom, koje je često u Parana boru, može se u obradi izobličiti. Drvo se lako oblikuje, teše i rezbari. Dobro prima ljepilo. Odlično drži čavle. Može se fino brusiti, dobro politirati, bojiti i podjednako dobro površinski obraditi različitim sredstvima za površinsku obradu. Nije pogodno za savijanje uz pomoć pare.

#### Sušenje

Trake kompresijskog drva otežavaju sušenje Parana bora. Suši se sporo i uz to može doći do velikoga uzdužnog utezanja. Složajevе treba opteretiti da se smanji vitoperenje. Preporučuje se produženo vrijeme kondicioniranja i redovite provjere sadržaja vode.

Drvo Parana bora u upotrebi je često sklono vitoperenju i jedno je od rijetkih s prilično velikim uzdužnim utezanjem (kompresijsko drvo).

#### Trajnost i zaštita

Drvo Parana bora prirodno je male trajnosti. Podložno je napadu insekata. Srž je srednje permeabilna, a bjeljika je permeabilna za zaštitna sredstva.

#### Uporaba

Parana bor je odlično tehničko drvo. Upotrebljava se kao građevno i stolarsko drvo, za gradnju

pokućstva, za unutarnje uređenje, za gradnju zrakoplova, za izradu ambalaže (nema mirisa) te za proizvodnju furnira, furnirskih i stolarskih ploča, šibica i celuloze.

#### **Napomena**

Sjemenke Parana bora su jestive i popularne su grickalice u Brazilu, gdje se naveliko skupljaju (3 400 tona u godini). Skupljanje sjemenki, uz pretjeranu sječu stabala, ozbiljno ugrožava regeneraciju vrste.

#### **Literatura**

1. \*\*\* Araucaria angustifolia, preuzeto 3.ožujka 2011. [http://en.wikipedia.org/wiki/Araucaria\\_angustifolia](http://en.wikipedia.org/wiki/Araucaria_angustifolia)
2. \*\*\* 1980: Šumarska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb.
3. Wagenführ, R.; Scheiber, C., 1974: Holzatlas, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 609-610.
4. \*\*\* 1964: Wood dictionary, Elsevier publishing company, Amsterdam.
5. \*\*\* 1994: Woods of the world, Tree talk, Inc., 431 Pine Street, Burlington, VT 05402.

izv. prof. dr. sc. Jelena Trajković  
doc. dr. sc. Bogoslav Šefc

# BIBLIOGRAFIJA ČLANAKA, STRUČNIH INFORMACIJA I IZVJEŠTAJA OBJAVLJENIH U "DRVNOJ INDUSTRIJI" U VOLUMENU 61 (2010), UDK I ODK

## 630\*79 Ekonomska i organizacijska pitanja drvne industrije

Nagý, Z.; Drábek, J.: Ekonomski aspekti ulaznih parametara sirovine za proizvodnju SAK celuloznih vlakana u vrijeme krize, br. 1, str. 33-37.

Motik, D.; Šegotić, K.; Jazbec, A.: Upotreba APH modela i rezultata ankete pri odlučivanju o proizvodnom programu u industriji namještaja, br. 2, str. 83-87.

Jelačić, D.; Matová, H.; Bičanić, K.: Percepcija identiteta poduzeća u hrvatskim i slovačkim tvrtkama za preradu drva i proizvodnju namještaja, br. 2, str. 103-110.

Aláč, P.; Demoč, V.; Barcik, Š.: Primjena i analiza informacijskog sustava u tvrtci za preradu drva, br. 2, str. 119-127.

Pirc, A.; Motik, D.; Moro, M.; Posavec, S.; Kopljar, A.: Analiza pokazatelja stanja na tržištu drvnih proizvoda Republike Hrvatske, br. 4, str. 229-238.

Perić, I.; Bičanić, K.; Pirc, A.; Ojurović, R.; Grladinović, T.: Analiza zadovoljstva kupaca namještaja, br. 4, str. 251-258.

## 630\*81 Drvo, kora i svojstva

Trajković, J.; Šefc, B.: Uz sliku s naslovnice, Vajmutovac (*Pinus strobus* L.), br. 2, str. 77-78.

Trajković, J.; Šefc, B.: Uz sliku s naslovnice, (*Laurelia aromatica* A. Juss.) br. 2, str. 143-144.

Trajković, J.; Šefc, B.: Uz sliku naslovnice, Wenge (*Milletia laurentii* De Wild.), br. 3, str. 209-210.

Trajković, J.; Šefc, B.: Uz sliku naslovnice, Afrička ebanovina, br. 4, str. 283-284.

## 630\*812.23 Utezanje i bubrenje

Govorčin, S.; Sinković, T.; Sedlar, T.: Postojanost protega maslinovine (*Olea europea* L.) i tikovine (*Tectona grandis* L.), br. 3, 169-173.

## 630\*812.31 Gustoća drva

Govorčin, S.; Sinković, T.; Sedlar, T.: Postojanost protega maslinovine (*Olea europea* L.) i tikovine (*Tectona grandis* L.), br. 3, 169-173.

## 630\*812.7 Svojstva čvrstoće; općenito

Hrázský, J.; Král, P.: Analiza određenih mehaničkih svojstava konstrukcijskog drva KVH i uslojenog drva PSL, br. 1, str. 15-26.

## 630\*822.04 Gustoća, fizikalna svojstva drvnih čestica, vrijednost

Dzurenda, L.; Orłowski, K.; Grzeskiewicz: Utjecaj termičke modifikacije hrastovine na granulometrijski sastav piljevine, br. 2, str. 89-94.

## 630\*824.42 Procesi lijepljenja

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Utjecaj oblika lijepljene površine na čvrstoću spoja rupe i čepa, br. 4, str. 223-228.

## 630\*829.1 Površinska obrada

Ayrilmis, N.; Candan, Z.; Akbulut, T.; Balkiz Ozgur, D.: Utjecaj brušenja na svojstva površine MDF ploče, br. 3, str. 175-181.

## 630\*831.1 Drvo za ogrjev

Dzurenda, L.; Geffertova, J.; Hecl, V.: Energijska obilježja iverja proizvedenoga od drva *Salix viminalis* – klonu ULV, br. 1, str. 27-31.

## 630\*832.14 Racionalizacija (općenito): organizacija rada.

Varga, M.; Csanády, E.; Kovacs Koppány, Z.: Simulacija u drvnoj industriji, dio II., br.1, str. 39-45.

## 630\*832.282 Furnirske ploče

Kurowska, A.; Borysiuk, P.; Maminski, M.; Zbieć, M.: Stlačivanje furnira kao metoda skraćivanja vremena prešanja furnirskih ploča, br. 3., str. 193-196.

Kuzman Kitek, M.; Oblak, L.; Vratuša, S.: Lamelirano lijepljeno drvo u arhitekturi, br. 3, 197-204.

## 630\*832.284 Uslojeno drvo

Hrázský, J.; Král, P.: Analiza određenih mehaničkih svojstava konstrukcijskog drva KVH i uslojenog drva PSL, br. 1, str. 15-26.

## 630\*836.1 Proizvodnja namještaja

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Utjecaj oblika lijepljene površine na čvrstoću spoja rupe i čepa, br. 4, str. 223-228.

Smardzewski, J.; Prekrat, S.; Pervan, S.: Istraživanja kontaktnih naprežanja između ojasučenja sjedala i korisnikova tijela, br. 2, str. 95-101.

Horman, I.; Hajdarević, S.; Martinović, S.; Vukas, N.: Numerička analiza naprezanja i deformacija u drvenoj stolici, br. 3, str. 151-158.

Vlaović, Z.; Grbac, I.; Domljan, D.; Bubić, A.: Uredske radne stolice – istraživanje deformacija i indeksa udobnosti, br. 3, str. 159-168.

#### 630\*841.14 Trajnost zaštite drva

Lesar, B.; Kralj, P.; Humar, M.: Utjecaj polietilenske i oksidirane polietilenske voštane emulzije na dinamiku ispiranja borne kiseline iz impregnirane smrekovine, br. 4, str. 213-221.

#### 630\*841.515 Izlaganje atmosferilijama i ispiranju

Lesar, B.; Kralj, P.; Humar, M.: Utjecaj polietilenske i oksidirane polietilenske voštane emulzije na dinamiku ispiranja borne kiseline iz impregnirane smrekovine, br. 4, str. 213-221.

#### 630\*847.24 Sušenje drva u sušionicama

Sedlar, T.; Pervan, S.: Analiza kvalitete procesa sušenja u klasičnim komornim sušionicama, br. 2, str. 111-118.

#### 630\*863 Kompozitni materijali od drva ili djelomično od drva

Hrázský, J.; Král, P.: Analiza određenih mehaničkih svojstava konstrukcijskog drva KVH i uslojenog drva PSL, br. 1, str. 15-26.

Brezović, M.; Kljak, J.; Pervan, S.; Antonović, A.: Utjecaj kuta orijentacije sintetičkih vlakana na savojna svojstva kompozitne furnirske ploče, br. 4, str. 239-243.

Španić, N.; Jambrečković, V.; Antonović, A.: Osnovni materijali za proizvodnju drvo-plastičnih kompozita, br. 4, str. 259-269.

#### 630\*863.21 Ploče iverice, proizvodnja i svojstva

Antonović, A.; Jambrečković, V.; Kljak, J.; Španić, N.; Medved, S.: Utjecaj modifikacije karbamid-formaldehidne smole s utekućenim drvom na svojstva ploča iverice, br. 1, str. 5-14.

Dziurka, D.; Mirski, R.: Hibridno ljepilo UF-pMDI za vodootporne ploče iverice proizvedene uz skraćeno vrijeme prešanja, br. 4, str. 245-249.

#### 630\*863.312 MDF ploče

Alpár T.; Fáczan T.; Rác I.; Kátoli G.: Proizvodnja MDF/HDF ploča od plantažnih vrsta drva, br. 3, str. 183-191.

#### 630\* 945 Informativna i savjetodavna služba

Beljo Lučić, R.: Uvodnik, Novo desetljeće časopisa Drvena industrija, br. 1, str. 3-4.

Živković, V.: Prezentacije suvremenih znanstvenih metoda istraživanja drva, br. 2, str. 129-132.

Jambrečković, V.: In memoriam, br. 3, str. 205-206.

Jambrečković, V.; Brezović, M.: Nova knjiga *Tehnologija obrade drva vodenom parom*, br. 3, str. 207-208.

Domljan, D.; Grbac, I.: Sajmovi i izložbe, *Ambienta* 2010. u Zagrebu, br. 4, str. 275-282.

#### 630\*946 Društva i udruženja, konferencije i savjetovanja, putovanja, ustanove

Domljan, D.; Župčić, I.; Ljuljka, B.; Grbac, I.: Najnoviji trendovi u oblikovanju namještaja i stambenog prostora *imm cologne*; br. 1, str. 47-60.

Domljan, D.: Studenti i mladi dizajnerski talenti na sajmu *imm cologne*, br. 1, str. 56-60.

Jelačić, D.: WoodEMA 2009 – Konkurentnost prerade drva i proizvodnje namještaja, Šibenik, 7-9. listopada 2009., br. 1, str. 61-62.

Grbac, I.: Znanstvenici i njihove karijere, br. 1, str. 63 - 67.

Motik, D.: Primjer dobre suradnje sveučilišta i zaklada za sufinanciranje istraživačkih projekata mladih znanstvenika, br. 1, str. 66-67.

Jirouš-Rajković, V.: Osvrt na knjigu F. Buliana i J.A. Graystonea *Wood Coatongs: Theory and Practice*, br. 1, str. 69-70.

Šefc, B.; Bihar, Z.: Bibliografija članaka stručnih informacija i izvještaja objavljenih u „Drvnoj industriji“ u volumenu 59 (2009) UDK; ODK, br. 1, str. 71-73.

Domljan, D.; Miklečić, J.: Noviteti u oblikovanju namještaja i interijera, I Saloni, Milano, br. 2, str. 133-138.

Grbac, I.: Znanstvenici i njihove karijere, br. 2, str. 139-142.

Despot, R.: Drvo je prvo – prijenos znanja u praksu kao put izlaska iz krize, *Ambienta* 2010, br. 4, str. 271-273.

#### 674.07 Površinska obrada

Ayrilmis, N.; Candan, Z.; Akbulut, T.; Balkiz Ozgur, D.: Utjecaj brušenja na svojstva površine MDF ploče, br. 3, str. 175-181.

Alpár, T.; Fáczan, T.; Rác, I.; Kátoli, G.: Proizvodnja MDF/HDF ploča od plantažnih vrsta drva, br. 3, str. 183-191.

#### 674.047.3 Sušenje

Sedlar, T.; Pervan, S.: Analiza kvalitete procesa sušenja u klasičnim komornim sušionicama, br. 2, str. 111-118.

#### 674.23 Proizvodnja namještaja

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Utjecaj oblika lijepljene površine na čvrstoću spoja rupe i čepa, br. 4, str. 223-228.

Smardzewski, J.; Prekrat, S.; Pervan, S.: Istraživanja kontaktnih naprezanja između ojasučenja sjedala i korisnikova tijela, br. 2, str. 95-101.



Horman, I.; Hajdarević, S.; Martinović, S.; Vukas, N.: Numerička analiza naprezanja i deformacija u drvenoj stolici, br. 3, str. 151-158.

Vlaović, Z.; Grbac, I.; Domljan, D.; Bubljić, A.: Uredske radne stolice – istraživanje deformacija i indeksa udobnosti, br. 3, str. 159-168.

**674.816.2 Kompozitni materijali od drva ili djelomično od drva**

Antonović, A.; Jambrečković, V.; Kljak, J.; Španić, N.; Medved, S.: Utjecaj modifikacije karbamid-formalde-

hidne smole s utekućenim drvom na svojstva ploča iverica, br.1, str 5-14.

Hrázský, J.; Král, P.: Analiza određenih mehaničkih svojstava konstrukcijskog drva KVH i uslojenog drva PSL, br. 1, str. 15-26.

Brezović, M.; Kljak, J.; Pervan, S.; Antonović, A.: Utjecaj kuta orijentacije sintetičkih vlakana na svojstva kompozitne furnirske ploče, br. 4, 239-243.

Španić, N.; Jambrečković, V.; Antonović, A.: Osnovni materijali za proizvodnju drvo-plastičnih kompozita, br. 4, str. 259-269.

## BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES, REWIEVS, TECHNICAL INFORMATION AND REPORTS PUBLISHED IN THE “DRVNA INDUSTRIJA” JOURNAL IN VOLUME 61 (2010), UDC AND ODC

**630\*79 Economics of the forest product industries**

Nagý, Z.; Drábek, J.: Economic Aspects of Raw Material Inputs for SAQ Pulp Production at the Time of Crisis, No. 1, pp. 33-37.

Motik, D.; Šegotić, K.; Jazbec, A.: Application of AHP Model and Survey Results in Deciding on a Product line in Furniture Industry, No. 2, pp. 83-87.

Jelačić, D.; Matová, H.; Bičanić, K.: Perception of Corporate Identity in Croatian and Slovakian wood Processing and Furniture Manufacturing Companies, No. 2, pp. 103-110.

Aláč, P.; Demoč, V.; Barcik, Š.: Implementation and analysis of Information System in a Wood Processing Company, No. 2, pp. 119-127.

Pirc, A.; Motik, D.; Moro, M.; Posavec, S.; Kopljar, A.: Analysis of Indicators of Wood Products Market in the Republic of Croatia, br. 4, str. 229-238.

Perić, I.; Bičanić, K.; Pirc, A.; Ojurović, R.; Grladinović, T.: Analysis of Customer Satisfaction in Furniture Market, No. 4, pp. 251-258.

**630\*81 Wood and bark structure and properties**

Trajković, J.; Šefc, B.: Species on the cover (*Pinus strobus* L.) No.2, pp. 77-78.

Trajković, J.; Šefc, B.: Species on the cover (*Laurelia aromatica* A. Juss.) No. 2, pp. 143-144.

Trajković, J.; Šefc, B.: Species on the cover, Wenge (*Milletia laurentii* De Wild.), No. 3, pp. 209-210.

Trajković, J.; Šefc, B.: Species on the cover, African Ebony, No. 4, pp. 283-284.

**630\*812.23 Shrinkage and swelling**

Govorčin, S.; Sinković, T.; Sedlar, T.: Dimensional stability of Olive (*Olea europea* L.) and Teak (*Tectona grandis* L.), br. 3, 169-173.

**630\*812.31 Density. Specific gravity**

Govorčin, S.; Sinković, T.; Sedlar, T.: Dimensional stability of Olive (*Olea europea* L.) and Teak (*Tectona grandis* L.), br. 3, 169-173.

**630\*812.7 Mechanical strength properties: general**

Hrázský, J.; Král, P.: Analysis of Selected Mechanical Properties of Construction Wood KVH and Parallam 2.0 E, No. 1, pp. 15-26.

**630\*822.04 Weight, physical properties, and value of sawdust**

Dzurenda, L.; Orłowski, K.; Grzeskiewicz: Effect of Thermal Modification of Oak Wood on Sawdust Granularity, No. 2, pp. 89-94.

**630\*824.42 Gluing processes**

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint, No. 4, pp. 223-228.

**630\*829.1 Finishing**

Ayrilmis, N.; Candan, Z.; Akbulut, T.; Balkiz Ozgur, D.: Effect of Sanding on surface Properties of Medium Density Fiberboard, No. 3, 175-181.

**630\*831.1 Fuelwood**

Dzurenda, L.; Geffertova, J.; Hecl, V.: Energy Characteristics of Wood-Chips Produced from *Salix viminalis* - Clone ULV, No. 1, pp. 27-31.

**630\*832.14 Rationalization (general): organization of labour**

Varga, M.; Csanády, E.; Kovacs Koppány, Z.: Simulation in Wood Industry. Part II, No.1, pp. 39-45.

**630\*832.282 Plywood**

Kurowska, A.; Borysiuk, P.; Maminski, M.; Zbieć, M.: Veneer Densification as a Tool for shortening of Plywood Pressing Time, No. 3, pp. 193-196.

Kuzman Kitek, M.; Oblak, L.; Vratuša, S.: Glued Laminated Timber in Architecture, No. 3, pp. 197-204.

**630\*832.284 Sandwich materials**

Hrázský, J.; Král, P.: Analysis of Selected Mechanical Properties of Construction Wood KVH and Parallam 2.0 E, No. 1, pp. 15-26.

**630\*836.1 Furniture and cabinet-making**

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint, No. 4, pp. 223-228.

Smardzewski, J.; Prekrat, S.; Pervan, S.: Research of contact stresses between seat cushion and human body, No. 2, pp. 95-101.

Horman, I.; Hajdarević, S.; Martinović, S.; Vukas, N.: Numerical Analysis of Stress and Strain in Wooden chair, No. 3, pp. 151-158.

Vlaović, Z.; Grbac, I.; Domljan, D.; Bubić, A.: Office Work Chairs – Research of Deformations and Comfort Indeks, No. 3, pp. 159-168.

**630\*841.14 Permanence of preservatives**

Lesar, B.; Kralj, P.; Humar, M.: Influence of Polyethylene and Oxidized Polyethylene Wax Emulsions on Leaching Dynamics of Boric Acid from Impregnated Spruce Wood, No. 4, pp. 213-221.

**630\*841.515 Weathering and leaching tests**

Lesar, B.; Kralj, P.; Humar, M.: Influence of Polyethylene and Oxidized Polyethylene Wax Emulsions on Leaching Dynamics of Boric Acid from Impregnated Spruce Wood, No. 4, pp. 213-221.

**630\*847.24 Kiln operation, drying practice**

Sedlar, T.; Pervan, S.: Analysis of Drying Process Quality in Conventional Dry-Kilns, No. 2, pp. 111-118.

**630\*863 Composite materials made wholly or partly of woody matter**

Hrázský, J.; Král, P.: Analysis of Selected Mechanical Properties of Construction Wood KVH and Parallam 2.0 E, No. 1, pp. 15-26.

Brezović, M.; Kljak, J.; Pervan, S.; Antonović, A.: Influence of Synthetic Fibers Angle Orientation on Bending Properties of Composite Plywood, No. 4, 239-243.

Španić, N.; Jambrečević, V.; Antonović, A.: Basic Materials for Manufacturing Wood-Plastic Composites, No. 4, pp. 259-269.

**630\*863.21 Particleboard processes and properties**

Antonović, A.; Jambrečević, V.; Kljak, J.; Španić, N.; Medved, S.: Influence of Urea-Formaldehyde Resin

Modification with Liquefied Wood on Particleboard Properties, No. 1, pp. 5-14.

Dziurka, D.; Mirski, R.: UF-pMDI Hybrid Resin for Waterproof Particleboards Manufactured at a Shortened Pressing Time, No. 4, pp. 245-249.

**630\*863.312 Medium-density hardboards**

Alpár T.; Fáczan T.; Rác I.; Kátoli G.: MDF/HDF Production from Plantation Wood species, No. 3, pp. 183-191.

**630\*945 Advisory, services, publicity, propaganda, education, training research**

Beljo Lučić, R.: Editorial, New Decade of the Journal Drvna industrija (Wood Industry) No. 1, pp. 3-4.

Živković, V.: Presentation of recent scientific methods for wood research, No. 2, pp. 129-132.

Jambrečević, V.: In memoriam, No. 3, pp. 205-206.

Jambrečević, V.; Brezović, M.: New book *Tehnologija obrade drva vodenom parom*, No. 3, pp. 207-208.

Domljan, D.; Grbac, I.: Ambianta 2010. in Zagreb, No. 4, pp. 275-282.

**630\*946 Associations, societies, conferences, excursions, institutions**

Domljan, D.; Župčić, I.; Ljuljka, B.; Grbac, I.: New trends in furniture design, *imm cologne*, Köln, 2010; No. 1, pp. 47-60.

Domljan, D.: Students and young designer talents in furniture design *imm cologne*, No. 1, pp. 56-60.

Jelačić, D.: WoodEMA 2009 – Competitiveness of woodworking industry and furniture production, Šibenik, 7-9. October 2009., No. 1, pp. 61-62.

Grbac, I.: New scientists, No. 2, pp. 139-142.

Motik, D.: An example of good cooperation between university and foundation for co-financing of research projects for young scientists, No. 1, pp. 66-67.

Jirouš-Rajković, V.: Review of book *Wood Coatings: Theory and Practice* by F. Bulian and J.A. Graystone, No. 1, pp. 69-70.

Šefc, B.; Bihar, Z.: Bibliography of articles, reviews, technical information and reports published in the "Drvna Industrija" Journal, Volume 59 (2009), UDC and ODC, No. 1, str. 71-73.

Domljan, D.; Miklečić, J.: Novelties in furniture and interior design, I Saloni, Milano, No. 2, pp. 133-138.

Grbac, I.: New scientists and their careers, No. 2, pp. 139-142.

Despot, R.: Wood is first – knowledge transfer into practice as a way-out from crisis, *Ambianta '10*, No. 4, pp. 271-273.

**674.047.3 Seasoning**

Sedlar, T.; Pervan, S.: Analysis of Drying Process Quality in Conventional Dry-Kilns, No. 2, pp. 111-118.

**674.07 Surface treatment of wood**

Ayrilmis, N.; Candan, Z.; Akbulut, T.; Balkiz Ozgur, D.: Effect of Sanding on surface Properties of Medium Density Fiberboard, No. 3, 175-181.

Alpár, T.; Fáczan, T.; Rác, I.; Kátoli, G.: MDF/HDF Production from Plantation Wood species, No. 3, pp. 183-191.

**674.23 Furniture making**

Prekrat, S.; Smardzewski, J.: Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint, No. 4, pp. 223-228.

Smardzewski, J.; Prekrat, S.; Pervan, S.: Research of contact stresses between seat cushion and human body, No. 2, pp. 95-101.

Horman, I.; Hajdarević, S.; Martinović, S.; Vukas, N.: Numerical Analysis of Stress and Strain in Wooden chair, No. 3, pp. 151-158.

Vlaović, Z.; Grbac, I.; Domljan, D.; Bublic, A.: Office Work Chairs – Research of Deformations and Comfort Indeks, No. 3, pp. 159-168.

**674.816.2 Composite materials made wholly or partly of woody matter**

Antonović, A.; Jambrekić, V.; Kljak, J.; Španić, N.; Medved, S.: Influence of Urea-Formaldehyde Resin Modification with Liquefied Wood on Particleboard Properties, No. 1, pp. 5-14.

Hrázský, J.; Král, P.: Analysis of Selected Mechanical Properties of Construction Wood KVH and Parallam 2.0 E, No. 1, pp. 15-26.

Brezović, M.; Kljak, J.; Pervan, S.; Antonović, A.: Influence of Synthetic Fibers Angle Orientation on Bending Properties of Composite Plywood, No. 4, 239-243.

Španić, N., Jambrekić, V.; Antonović, A.: Basic Materials for Manufacturing Wood-Plastic Composites, No. 4, pp. 259-269.

Asist. Prof. Bogoslav Šefer  
Zlatko Bihar

## Upute autorima

Sve autore molimo da prije predaje rukopisa pažljivo prouče sljedeća pravila. To će poboljšati suradnju urednika i autora te pridonijeti skraćenoj razdoblja od predaje do objavljivanja radova. Rukopisi koji budu odstupali od ovih odredbi i ne budu udovoljavali formalnim zahtjevima bit će vraćeni autorima radi ispravaka, i to prije razmatranja i recenzije.

## Opće odredbe

Časopis "Drvena industrija" objavljuje izvorne znanstvene i pregledne radove, prethodna priopćenja, stručne radove, izlaganja sa savjetovanja, stručne obavijesti, bibliografske radove, preglede te ostale priloge s područja iskorištavanja šuma, biologije, kemije, fizike i tehnologije drva, pulpe i papira te drvnih proizvoda, uključivši i proizvodnu, upravljačku i tržišnu problematiku u drvenoj industriji.

Predaja rukopisa razumijeva uvjet da rad nije već predan negdje drugdje radi objavljivanja i da nije već objavljen (osim sažetka, dijelova objavljenih predavanja ili magistarskih radova odnosno disertacija; što mora biti navedeno u napomeni); da su objavljivanje odobrili svi suautori (ako ih ima) i ovlaštene osobe ustanove u kojoj je rad proveden. Kad je rad prihvaćen za objavljivanje, autori pristaju na automatsko prenošenje izdavačkih prava na izdavača te pristaju da rad ne bude objavljen drugdje niti na drugom jeziku bez odobrenja nositelja izdavačkih prava.

Znanstveni i stručni radovi objavljuju se na hrvatskome uz širi sažetak na engleskome ili njemačkome, ili se pak rad objavljuje na engleskome ili njemačkome, s proširenim sažetkom na hrvatskom jeziku. Naslovi i svi važni rezultati trebaju biti dani dvojezično. Ostali se članci uglavnom objavljuju na hrvatskome. Uredništvo osigurava inozemnim autorima prijevod na hrvatski. Znanstveni i stručni radovi podliježu temeljitoj recenziji bar dvaju izabranih recenzenata. Izbor recenzenata i odluku o klasifikaciji i prihvaćanju članka (prema preporukama recenzenata) donosi Urednički odbor.

Svi prilozima podvrgavaju se jezičnoj obradi. Urednici će zahtijevati od autora da prilagode tekst preporukama recenzenata i lektora, a urednici zadržavaju i pravo da predlože skraćivanje i poboljšanje teksta.

Autori su potpuno odgovorni za svoje priloge. Podrazumijeva se da je autor pribavio dozvolu za objavljivanje dijelova teksta što je već negdje drugdje objavljen, te da objavljivanje članka ne ugrožava prava pojedinca ili pravne osobe. Radovi moraju izvještavati o istinitim znanstvenim ili tehničkim postignućima. Autori su odgovorni za terminološku i metrološku usklađenost svojih priloga.

Radovi se, u dva tiskana primjerka i u elektronskom zapisu, šalju na adresu:

Uredništvo časopisa "Drvena industrija"  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25, HR - 10000 Zagreb  
E-mail: drind@sumfak.hr

## Rukopisi

Predani rukopisi smiju sadržavati najviše 15 jednostrano pisanih DIN A4 listova s dvostrukim proredom (30 redaka na stranici), uključivši i tablice, slike i popis literature, dodatke i ostale priloge. Dulje članke je preporučljivo podijeliti u dva ili više nastavaka.

Tekst treba biti napisan u MS Wordu, u normalnom stilu bez dodatnog uređenja teksta. Uredništvo prihvaća elektronski zapis na disketi, CD-u ili putem elektronske pošte.

Prva stranica poslanog rada treba sadržavati puni naslov, ime(na) i prezime(na) autora, podatke o zaposlenju (ustanova, grad i država), te sažetak s ključnim riječima (približno 1/2 DIN A4 stranice, u obliku bibliografskog sažetka).

Znanstveni i stručni radovi na sljedećim stranicama trebaju imati i naslov, prošireni sažetak i ključne riječi na jeziku različitom od onoga na kojem je pisan tekst članka (npr. za članak pisan na engleskome ili njemačkome naslov, prošireni sažetak i ključne riječi trebaju biti na hrvatskome, i obratno). Prošireni sažetak (približno 1 1/2 stranice DIN A4), uz rezultate, trebao bi omogućiti čitatelju koji se ne služi jezikom kojim je pisan članak potpuno razumijevanje cilja rada, osnovnih odrednica pokusa, rezultata s bitnim obrazloženjima te autorovih zaključaka.

Posljednja stranica sadrži titule, zanimanje, zvanje i adresu (svakog) autora, s naznakom osobe s kojom će Uredništvo biti u vezi.

Znanstveni i stručni radovi moraju biti sažeti i precizni, uz izbjegavanje dugačkih uvoda. Osnovna poglavlja trebaju biti označena odgovarajućim podnaslovima. Napomene se ispisuju na dnu pripadajuće stranice, a obročuju se susljedno. One koje se odnose na naslov označuju se zvjezdicom, a ostale natpisnim (uzdignutim) arapskim brojkama. Napomene koje se odnose na tablice pišu se ispod tablice, a označavaju se uzdignutim malim pisanim slovima abecednim redom.

Latinska imena pisana kosim slovima trebaju biti podcrtana.

**U uvodu** treba definirati problem i, koliko je moguće, predočiti granice postojećih spoznaja, tako da se čitateljima koji se ne bave područjem o kojemu je riječ omogući razumijevanje namjera autora.

**Materijal i metode** trebaju biti što preciznije opisane da omoguće drugim znanstvenicima obnavljanje pokusa. Glavni eksperimentalni podaci trebaju biti dvojezično navedeni.

**Rezultati** trebaju obuhvatiti samo materijal koji se izravno odnosi na predmet. Obvezatna je primjena metričkog sustava. Preporučuju se SI jedinice. Rjeđe rabljene fizikalne vrijednosti, simboli i jedinice trebaju biti objašnjeni pri prvom spominjanju u tekstu. Za pisanje formula koristiti Equation Editor (program za pisanje formula unutar MS Worda). Jedinice se pišu normalnim (uspravnim) slovima, a fizikalni simboli i faktori kosim slovima. Formule se susljedno obročuju arapskim brojkama u zagradama, npr. (1) na kraju retka.

Broj slika mora biti ograničen na samo one koje su prijeko potrebne za pojašnjenje teksta. Isti podaci ne smiju biti navedeni u tablici i na slici. Slike i tablice trebaju biti zasebno obročene arapskim brojkama, a u tekstu se na njih upućuje jasnim naznakama ("tablica 1" ili "slika 1"). Naznaka željenog položaja tablice ili slike u tekstu treba biti navedena na margini. Svaka tablica i slika treba biti prikazana na zasebnom listu, a njihovi naslovi moraju biti tiskani na posebnim listovima, i to redosljedom. Naslovi, zaglavlja, legende i sav ostali tekst u slikama i tablicama treba biti pisan hrvatskim i engleskim ili hrvatskim i njemačkim jezikom.

Slike i tablice trebaju biti potpuno i jasno razumljive bez pozivanja na tekst priloga. Naslove slika i crteža ne pisati velikim tiskanim slovima. Uputno je da crteži odgovaraju stilu časopisa i da budu tiskani na laserskom printeru. Tekstu treba priložiti izvorne crteže ili fotografske kopije. Slova i brojke moraju biti dovoljno veliki da budu lako čitljivi nakon smanjenja širine slike ili tablice na 160 ili 75 mm. Fotografije trebaju biti crno-bijele; one u boji tiskaju se samo na poseban zahtjev, a trošak tiskanja u boji podmiruje autor. Fotografije i fotomikrografije moraju biti izvedene na sjajnom papiru s jakim kontrastom. Fotomikrografije trebaju imati naznaku uvećanja, poželjno u mikrometrima. Uvećanje može biti dodatno naznačeno na kraju naslova slike, npr. "uvećanje 7500 : 1".

Svaka ilustracija na poleđini treba imati svoj broj i naznaku orijentacije te ime (prvog) autora i skraćeni naslov članka. Originalne se ilustracije ne vraćaju autorima.

**Diskusija i zaključak** mogu, ako autori tako žele, biti spojeni u jedan odjeljak. U tom tekstu treba objasniti rezultate s obzirom na problem koji je postavljen u uvodu u odnosu prema odgovarajućim zapažanjima autora ili drugih istraživača. Valja izbjegavati ponavljanje podataka već iznesenih u odjeljku "Rezultati". Mogu se razmotriti naznake za dalja istraživanja ili primjenu. Ako su rezultati i diskusija spojeni u isti odjeljak, zaključke je nužno iskazati odvojeno.

**Zahvale** se navode na kraju rukopisa.

Odgovarajuću **literaturu** treba citirati u tekstu i to prema harvardskom ("ime - godina") sustavu, npr. (Bađun, 1965). Nadalje, bibliografija mora biti navedena na kraju teksta, i to abecednim redom prezimena autora, s naslovima i potpunim navodima bibliografskih referenci. Nazive časopisa treba skratiti prema publikacijama Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Forestry Abstracts ili Forestry Products Abstracts. Popis literature mora biti selektivan, osim u preglednim radovima. Primjeri navođenja:

Članci u časopisima: Prezime autora, inicijal(i) osobnog imena, godina: naslov. Skraćeni naziv časopisa, godište (ev. broj): stranice (od - do).  
Primjer: Bađun, S. 1965: *Fizička i mehanička svojstva hrastovine iz šumskih predjela Ludbrenik, Lipovljani. Drvena ind.* 16 (1/2): 2 - 8.

Knjige: Prezime autora, inicijal(i) osobnog imena, godina: naslov. (ev. izdavač/ditor): izdanje (ev. tom). Mjesto izdavanja, izdavač, (ev. stranice od - do).

Primjeri:

Krpan, J. 1970: *Tehnologija furnira i ploča. Drugo izdanje. Zagreb: Tehnička knjiga.*

Wilson, J.W.; Wellwood, R.W. 1965: *Intra-increment chemical properties of certain western canadian coniferous species. U: W. A. Cote, Jr. (Ed.): Cellular Ultrastructure of Woody Plants. Syracuse, N.Y., Syracuse Univ. Press, pp. 551- 559.*

Ostale publikacije (brošure, studije itd.):

Müller, D. 1977: *Beitrag zur Klassifizierung asiatischer Baumarten. Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 98. Hamburg: M. Wiederbusch. Web stranice:*

\*\*\*1997: "Guide to Punctuation" (online), University of Sussex, [www.informatics.sussex.ac.uk/department/docs/punctuation/node00.html](http://www.informatics.sussex.ac.uk/department/docs/punctuation/node00.html). First published 1997 (Pristupljeno 27. siječnja 2010).

## Tiskani slog i primjerci

Autoru se prije konačnog tiska šalju po dva primjerka tiskanog sloga. Jedan primjerak treba pažljivo ispraviti upotrebom međunarodno prihvaćenih oznaka. Ispravci su ograničeni samo na tiskarske greške: dodaci ili promjene teksta posebno se naplaćuju. Autori znanstvenih i stručnih radova primaju besplatno po pet primjeraka časopisa. Autoru svakog priloga dostavlja se po jedan primjerak časopisa.

## Instructions for authors

The authors are requested to observe carefully the following rules before submitting a manuscript. This will facilitate co-operation between the editors and authors and help to minimise the publication period. Manuscripts that differ from the specifications and do not comply with the formal requirements will be returned to the authors for correction before review.

### General

The "Drvna industrija" ("Wood Industry") journal publishes original scientific and review papers, short notes, professional papers, conference papers, reports, professional information, bibliographical and survey articles and general notes relating to the forestry exploitation, biology, chemistry, physics and technology of wood, pulp and paper and wood components, including production, management and marketing aspects in the woodworking industry.

Submission of a manuscript implies that the work has not been submitted for publication elsewhere or published before (except in the form of an abstract or as part of a published lecture, review or thesis, in which case that must be stated in a footnote); that the publication is approved by all co-authors (if any) and by the authorities of the institution where the work has been carried out. When the manuscript is accepted for publication the authors agree to the transfer of the copyright to the publisher and that the manuscript will not be published elsewhere in any language without the consent of the copyright holders.

The scientific and technical papers should be published either in Croatian, with extended summary in English or German, or in English or German with extended summary in Croatian. The titles and all the relevant results should be presented bilingually. Other articles are generally published in Croatian. The Editor's Office provides the translation into Croatian for foreign authors.

The scientific and professional papers are subject to a thorough review by at least two selected referees. The Editorial Board makes the choice of reviewers, as well as the decision about the accepting of the paper and its classification - based on reviewers' recommendations - is made by Editorial Board.

All contributions are subject to linguistic revision. The editors will require authors to modify the text in the light of the recommendations made by reviewers and linguistic advisers. The editors reserve the right to suggest abbreviations and text improvements.

Authors are fully responsible for the contents of their contribution. The Editors assume that the author has obtained the permission for the reproduction of portions of text published elsewhere, and that the publication of the paper in question does not infringe upon any individual or corporate rights. Papers must report on true scientific or technical progress. Authors are responsible for the terminological and metrological consistency of their contribution.

The contributions are to be submitted in duplicate printout and an electronic version to the following address:

Editorial Office "Drvna industrija"  
Faculty of Forestry, Zagreb University  
Svetošimunska 25, HR - 10000 Zagreb, Croatia  
E-mail: drind@sumfak.hr

### Manuscripts

Submitted manuscripts must consist of no more than 15 single-sided DIN A-4 sheets of 30 double-spaced lines, including tables, figures and references, appendices and other supplements. It is advised that longer manuscripts be divided into two or more continuing series.

Manuscripts should be written in MS Word, in normal style. Electronic version on diskettes, CD or sent by e-mail will be accepted with the printout.

The first page of the typescript should present full title, name(s) of author(s) with professional affiliation (institution, city and state), abstract with keywords in the main language of the paper (approx. 1/2 sheet DIN A4, concise in abstract form).

The succeeding pages of scientific and professional papers should present a title and extended summary with keywords in a language other than the main language of the paper (e.g. for a paper written in English or German, the title, extended summary and keywords should be presented in Croatian, and vice versa). The extended summary (approx. 1 1/2 sheet DIN A4), along with the results, should enable the reader who is unfamiliar with the language of the main text, to completely understand the intentions, basic experimental procedure, results with essential interpretation and conclusions of the author.

The last page should provide the full titles, posts and address(es) of (all) the author(s) with indication as to whom the authors are editors to contact. Scientific and professional papers must be precise and concise and avoid lengthy introductions. The main chapters should be characterised by appropriate headings.

Footnotes should be placed at the bottom of the same page and consecutively numbered. Those relating to the title should be marked by an asterisk, others by superscript arabic numerals. Footnotes relating to the tables should be printed below the table and marked by small letters in alphabetical order. Latin names to be printed in italic should be underlined.

**Introduction** should define the problem and if possible the frame of existing knowledge, to ensure that readers not working in that particular field are able to understand author's intentions.

**Materials and methods** should be as precise as possible to enable other scientists to repeat the work. Main experimental data should be presented bilingually.

**Results:** only material pertinent to the subject can be included. The metric system must be used. SI units are recommended. Rarely used physical values, symbols and units should be explained at their first appearance in the text. Formulas should be written by using Equation Editor in MS Word. Units are written in normal (upright) letters, physical symbols and factors are written in italics. Formulas are consecutively numbered with arabic numerals in parenthesis (e.g. (1)) at the end of the line.

The number of figures must be limited to those absolutely necessary for clarification of the text. The same information must not be presented in both a table and a figure. Figures and tables should be numbered separately with arabic numerals, and should be referred to in the text with clear remarks ("Table 1" or "Figure 1"). The position of the figure or a table in the text should be indicated on the margin. Each table and figure should be presented on a single separate sheet. Their titles should be typed on a separate sheet in consecutive order. Captions, headings, legends and all the other text in figures and tables should be written in both Croatian and in English or German.

Figures and tables should be complete and readily understandable without reference to the text. Do not write the captions to figures and drawings in block letters.

Line drawings should, if possible conform to the style of the journal and be printed on the laser printer. Original drawings or photographic copies should be submitted with the manuscript. Letters and numbers must be sufficiently large to be readily legible after reduction of the width of a figure/table to either 160 mm or 75 mm. Photographs should be black/white. Colour photographs will be printed only on special request; the author will be charged for multicolour printing.

Photographs and photomicrographs must be printed on highgloss paper and be rich in contrast. Photomicrographs should have a mark indicating magnification, preferably in micrometers. Magnification can be additionally indicated at the end of the figure title (e.g. Mag. 7500:1). Each illustration should carry on its reverse side its number and indication of its orientation, along with the name of (principal) author and a shortened title of the article. Original illustrations will not be returned to the author.

**Discussion and conclusion** may, if desired, be combined into one chapter. This should interpret results in relation of the problem as outlined in the introduction and of related observations by the author(s) or others. Avoid repeating the data already presented in the "Results" chapter. Implications for further studies or application may be discussed. A conclusion should be added if results and discussion are combined.

**Acknowledgements** are presented at the end of manuscript.

Relevant **literature** must be cited in the text according to the name-year (Harvard-) system. In addition, the bibliography must be listed at the end of the text in alphabetical order of the author's names, together with the title and full quotation of the bibliographical reference. Names of journals should be abbreviated according to Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Forestry Abstracts or Forest Products Abstracts. The list of references should be selective, except in review papers. Examples of the quotation:

Journal articles: Author, initial(s) of the first name, year: Title. Abbreviated journal name, volume (ev. issue): pages (from - to). Example:  
*Porter, A.W. 1964: On the mechanics of fracture in wood. For. Prod. J. 14 (8):325 - 331.*

Books: Author, first name(s), year: Title. (ev. editor): edition, (ev. volume), place of edition, publisher (ev. pages from - to). Examples:  
*Kollmann, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzerzeugnisse. 2nd edition, Vol. 1. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer*  
*Wilson, J.W.; Wellwood, R.W. 1965: Intra-increment chemical properties of certain western Canadian coniferous species. In: W.A. Côte, Jr. (Ed.): Cellular Ultrastructure of Woody Plants. Syracuse, N.Y., Syracuse Univ. Press, pp. 551-559.*

Other publications (brochures, reports etc.):

*Müller, D. 1977: Beitrag zur Klassifizierung asiatischer Baumarten. Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 98. Hamburg: M. Wiederbusch.*

Web pages:

*\*\*\*1997: "Guide to Punctuation" (online), University of Sussex, www.informatics.sussex.ac.uk/department/docs/punctuation/node 00.html. First published 1997 (Accessed 27<sup>th</sup> January 2010).*

### Proofs and journal copies

Galley proofs are sent to the author in duplicate. One copy should be carefully corrected, using internationally accepted symbols. Corrections should be limited to printing errors; amendments to or changes in the text will be charged.

Authors of scientific and professional papers will receive 5 copies of the journal free of charge. A copy of a journal will be forwarded to each contributor.