

UDK: 674.047+630\*814.8

Оригинални научни рад

DOI: <https://doi.org/10.2298/GSF1817157V>

## КВАЛИТЕТ СУШЕЊА И БОЈА СУБФОСИЛНОГ ДРВЕТА ХРАСТА ИЗ ЦЕНТРАЛНЕ СРБИЈЕ

маст. инж. Марко Веизовић, сарадник у настави, Универзитет у Београду – Шумарски факултет (marko.veizovic@sfb.bg.ac.rs)

др. Здравко Поповић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

др. Небојша Тодоровић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

др. Горан Милић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

**Извод:** Предмет овог рада је анализа квалитета природног и конвенционалног сушења субфосилног дрвета храста. Поред квалитета сушења, испитана је и боја овог материјала, као и утицај процеса сушења на промену боје. У експерименту је коришћено субфосилно дрво храста које потиче из централне Србије. Грађа је након изрезивања сушена природним путем до око 20% влажности, а затим вештачки до влажности од 9,5%. Испитивањем квалитета природног сушења утврђено је велико присуство пукотина, као и непрецизност мерења влажности помоћу електровлагомера. Шаржа за вештачко сушење се састојала од 24 даске, од којих су 4 коришћене за праћење влажности и профила влажности у току сушења. На крају процеса одређена је коначна влажност, разлика влажности по дебљини грађе и скорелост. Иако је коришћен благ режим вештачког сушења, размак је, као мера скорелости, код субфосилног храста био већи од очекиваног за уобичајено дрво храста исте дебљине. Утврђено је да процес сушења нема значајног утицаја на промену боје субфосилног дрвета. Очекивано, боја субфосилног дрвета храста је била значајно тамнија у односу на уобичајено дрво храста, а утврђена је и разлика у боји централног и спољашњег дела трупца субфосилног храста.

**Кључне речи:** субфосилни храст, квалитет сушења, боја дрвета

## УВОД

Субфосилно дрво је нефосилизовано дрво које је стотинама или хиљадама година било депоновано у рекама, мочварама или моренама. Када се дрво нађе у анаеробним условима оно бива заштићено од главних фактора који утичу на његову деградацију – ксилофагних инсеката и лигниколних гљива. На тај начин оно може бити сачувано изузетно дуг временски период. Иако изоловано од ових штеточина, у дрвету се, током времена, одигравају бројни

процеси. Најзначајнији је фосилизација – замена органских једињења неорганским, која коначно може довести до карбонификације или петрификације материјала (Christiernin *et al.*, 2009). Субфосилним дрветом се сматра оно код ког је процес фосилизације започет, али не и завршен. До сада најстарија пронађена дебла субфосилног храста су старости око 11 хиљада година (Sinković *et al.*, 2009). Осим фосилизације у дрвету се током времена одигравају и

бројни други процеси (хидролитичка деградација, разградња основних градивних елемената и минерализација), који су изазвани различитим условима средине у којој је дрво депоновано (температура, киселост, присуство кисеоника, вода и сл.). Kolář *et al.* (2012) наводе да услови у којима је дрво депоновано имају знатно већи утицај на промене које се јављају у односу на време депоновања.

Најочигледнија разлика између субфосилног и уобичајеног дрвета храста је боја. Дрво постаје златно-браон, сиво или потпуно црно, у спољним деловима трупца. Ова промена је последица реакције гвожђа раствореног у води и танина присутног у дрвету (Bürck *et al.*, 2012). Једино код боје дрвета време има већи утицај у односу на услове у којима је дрво депоновано (Kolář, Rybníček, 2010). Досадашња испитивања субфосилног дрвета храста углавном су се бавила његовим својствима, али мало је испитивања спроведено на тему сушења овог материјала. Циљ овог рада била је анализа квалитета природног и конвенционалног сушења субфосилног дрвета храста. Додатни циљ био је да се одреди и квантификује боја овог дрвета пореклом из централне Србије, као и да се утврди да ли долази до њене промене током процеса сушења.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

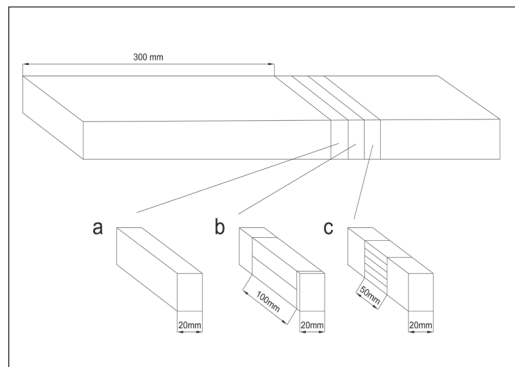
Трупци субфосилног храста који су коришћени у истраживању извађени су из плавног земљишта око реке Велике Мораве у централној Србији. Из њих је добијена неокрајчена резана грађа номиналне дебљине 25 mm и дужине 2 m. Ширина дасака је износила од 15 до 50 cm. Даске су након изрезивања сложене у сложајеве и остављене да се природно суше. После 6 месеци природног сушења, грађа је допремљена у лабораторију за својства дрвета Шумарског факултета, Универзитета у Београду, где је извр-

шено испитивање. Одмах по допреми грађе у лабораторију, извршено је пробно мерење гравиметријском методом помоћу два типа електровлагомера и изабране су 24 даске за вештачко сушење. Грађа је конвенционално сушена у лабораторијској сушари запремине 0,8 m<sup>3</sup>. Опрема сушаре је идентична опреми која се користи у индустријским сушарама: реверзбилни вентилатори, систем за навлаживање ваздуха, измењивачи топлоте, аутоматика за вођење процеса (Нигос МЦ-2000), осам сонди за мерење влажности дрвета и два мерна места температуре и равнотежне влажности. Ширина сложаја је износила 70 cm, дужина 2 m, а по висини је постављено 12 редова дасака. Сонде су равномерно распоређене у првих 10 редова, док су даске из два реда са врха служиле за изрезивање узорака током сушења. Визуелним прегледом грађе, при формирању сложаја, утврђено је велико присуство пукотина и распуклена. Како би се избегло њихово даље ширење у процесу вештачког сушења, коришћен је благ режим где температура није прелазила 40°C (табела 1). На крају сушења је спроведена фаза кондиционирања и хлађења.

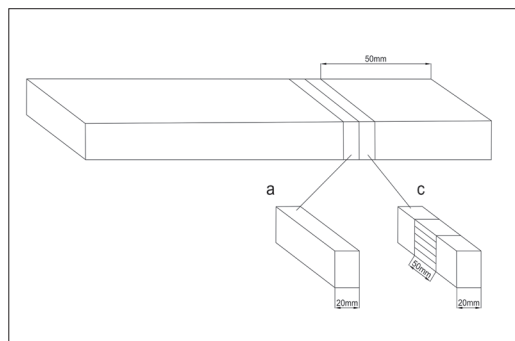
За испитивање квалитета природног и вештачког сушења одабрано је 11 контролних дасака. Из ових дасака су изрезане епрувете (слика 1) за одређивање коначне влажности (а), заосталих напрезања (б) и профила влажности (с). Одређивање влажности је вршено гравиметријским путем (EN 13183-1:2002), али је пре почетка вештачког сушења влажност измерена и помоћу електровлагомера. Разлика влажности по дебљини (профил влажности) израчунана је као разлика влажности централних и спољних ламела (укупно је било 5 ламела за сваку епрувету). Размак, као мера скорелости, је мерен након 48 часова. Четири контролне даске су коришћене за праћење процеса сушења и из њих су, сваког дана, изрезиване епрувете (слика 2) за одређивање влажности (а) и профила влажности (с) у току сушења.

**Табела 1.** Режим конвенционалног сушења (резана грађа субфосилног храста, 25 mm)

Влажн. дрвета (%)	$u_p$ - 20	20 - 16	16 - 12	12 - $u_k$	Кондиц.
Температура (°C)	30	30	32	40	37
Равн. влажн. (%)	9	7	6	5	9



**Слика 1.** Начин изрезивања епрувета за контролу квалитета сушења, а – испитивање влажности, б – испитивање скорелости, с – испитивање распореда влажности по дебљини



**Слика 2.** Изрезивање узорака за испитивање влажности (а) и распореда влажности (с) током сушења



**Слика 3.** Разлика у боји и велико присуство пукотина на грађи субфосилног дрвета храста (лево), у поређењу са грађом уобичајеног хрastoвог дрвета (десно)

Боја је мерена на свим даскама, пре и после сушења, на необрађеној површини. На свакој дасци су насумично одабрана и обележена два мерна места, како би се након сушења могла измерити боја на истој позицији. На овај начин је било могуће квантификовати евентуалну промену боје у процесу сушења.

Промена боје по ширини сортимента је испитана на радијалним даскама, тако што је на ширини целог сортимента боја мерена на сваким 20 mm. У овом случају боја је мерена на обрађеној површини. За мерење боје, коришћен је уређај Erichsen Easy Co (димензија сочива за снимање је 10 mm, а уређај је био подешен на угао посматрања 10° и осветљење D65 за дневно светло), који мери координате боје у CIEL\*a\*b\*систему (L\* – светлина, a\* - црвена нијанса, b\* - жута нијанса). На основу добијених вредности координата одређена је разлика у боји према следећој формули:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

Класификација је урађена према критеријуму које су приказали Allegretti et al., (2008).

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Визуелним прегледом грађе која је сушена природним путем утврђено је да постоји велики број пукотина и распуклена (слика 3). Ове грешке су последица брзог губитка воде из дрвета након извлачења трупца из воде и муља. После разрезивања трупаца грађа је сушена стандардном процедуром природног сушења која се у пракси примењује за уобичајено дрво храста. На основу лошег стања ове грађе може се закључити да су услови природног сушења превише оштри за овај материјал и да би њега требало, одмах након разрезивања, сушити вештачким путем уз примену посебних режима. Препорука неких произвођача је да се резана грађа субфосилног храста одмах након разрезивања убаци у сушару у услове релативне влажности  $\phi > 90\%$ .

Влажност дрвета, мерена електровлагодометром, одступа од влажности рачунате гравиметријски. Вредности влажности мерене капацитетом

тивним влагомером (при подешености на густину  $0,65 \text{ g/cm}^3$ ) приказују значајно ниже вредности у односу на реалне (разлика око 10%), иако је влажност дрвета у опсегу у ком би контактни влагомер требало да даје поуздане резултате (слика 4). Вредности влажности дрвета измерене влагомером на бази електричног отпора ближе су реалним. У случају корекције за врсту дрвета на трећу групу, којој припада храст, одступање влажности у односу на гравиметријски метод је око 4,5%. При корекцији за врсту дрвета на четврту групу одступање је мање од 1%. Управо из тог разлога је аутоматско вођење процеса сушења подешено тако да сонде мере влажност уз корекцију на четврту групу врсте дрвета. Након природног сушења распоред влажности по дебљини је био веома уједначен. Градијент влажности (ГВ) након природног сушења је износио  $0,33 \text{ %/mm}$ .

Од допреме грађе у лабораторију до почетка вештачког сушења дошло је до губитка влажности из дрвета, па је почетна влажност грађе за вештачко сушење (мерено гравиметријски) била 18,4%. Коначна влажност била је 10,6% (слика 6) и процес је трајао приближно 265 ча-

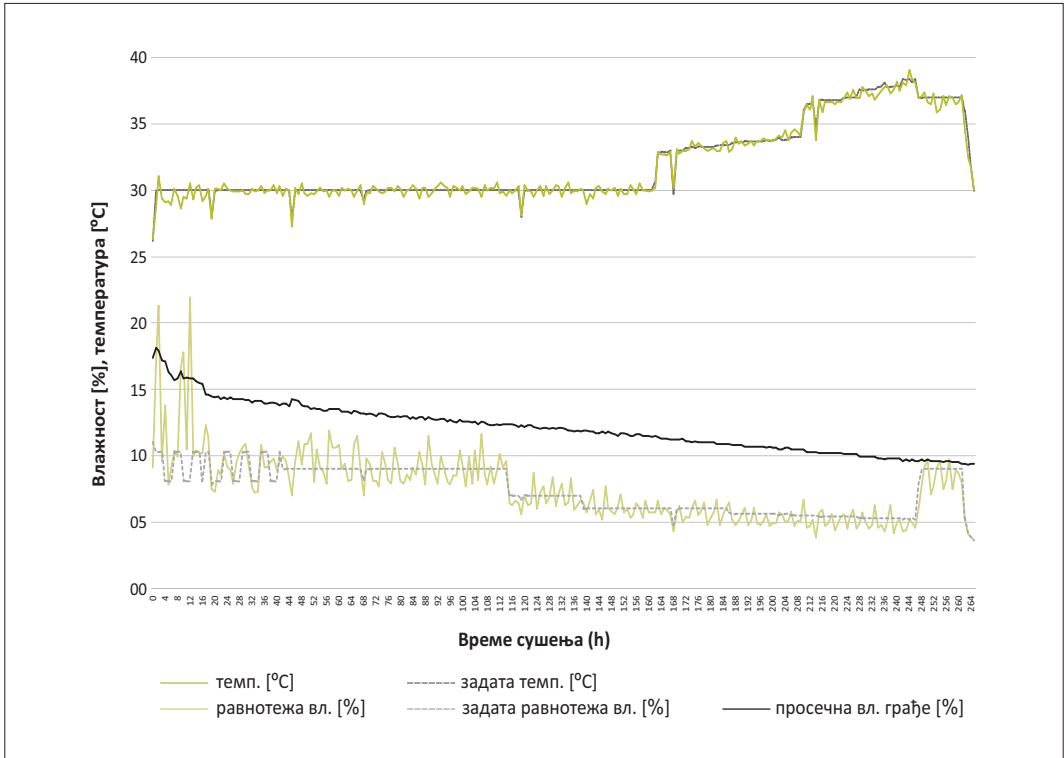
сова. У почетној фази сушења се може приметити осцилација задате равнотежне влажности и велико одступање стварне од задате равнотежне влажности. Настала одступања су последица техничке грешке која је коригована и у преосталом делу сушења су задати параметри углавном били реализовани.

Разлика између коначне влажности измерене сондама у сушари (9,4%) и стварне коначне влажности грађе (10,6%) последица је одступања мерења влажности електровлагомерима од вредности добијених гравиметријском методом. Ово одступање се јавило у целом процесу сушења и његова вредност је од 0,8% до 1,5% (слика 6).

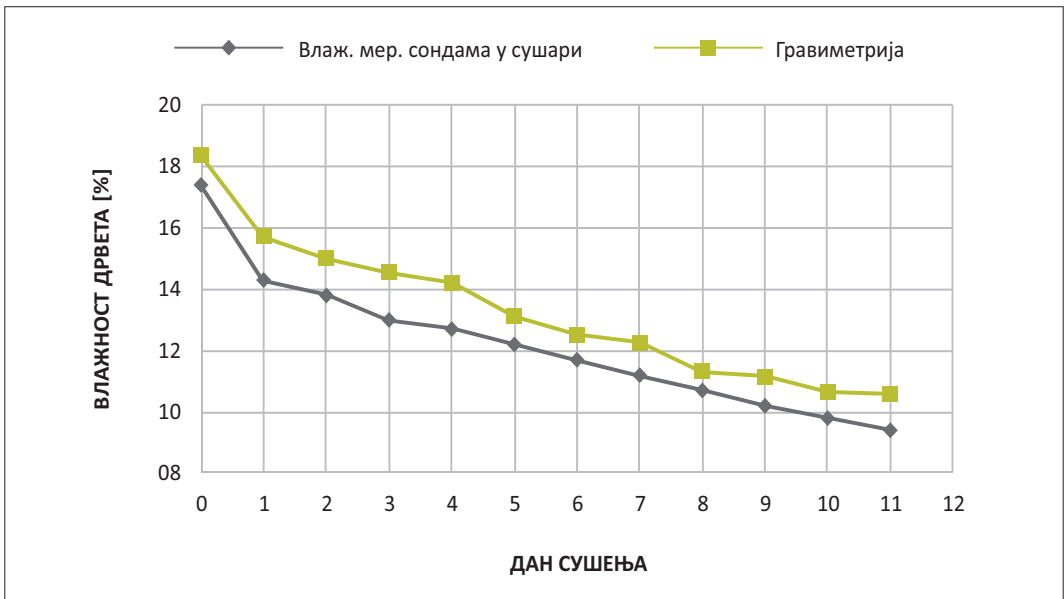
Градијент влажности на крају вештачког сушења је био  $0,23 \text{ %/mm}$  (слика 7). Ова вредност задовољава захтеве највише класе квалитета, што је очекивано, јер је грађа претходно просушена природним путем и на крају вештачког сушења кондиционирана. Кретање градијента влажности у току сушења приказано је на примеру једне репрезентативне даске (слика 8). На основу профила влажности може се видети да је у току сушења дошло до благог уједнача-



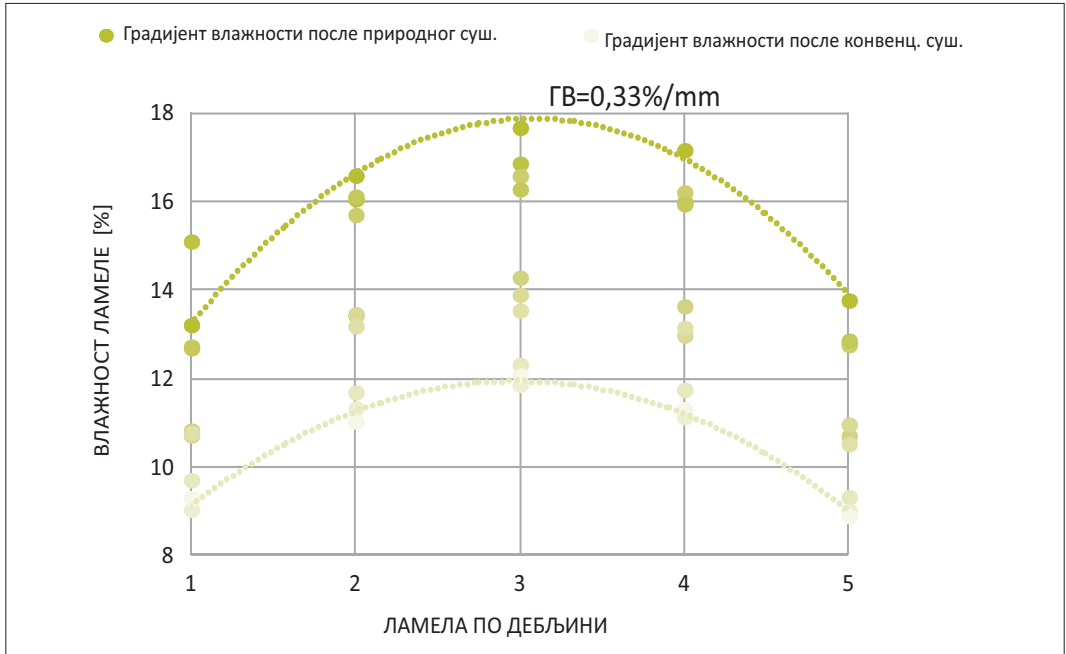
**Слика 4.** Измерене влажности субфосилне грађе храста у зависности од начина мерења (капацитивност - мерење контактним влагомером при корекцији за густину  $0,65 \text{ g/cm}^3$ ; конд. група 3 – мерење убодним влагомером при корекцији на групу 3 и конд. група 4 – мерење убодним влагомером при корекцији на групу 4)



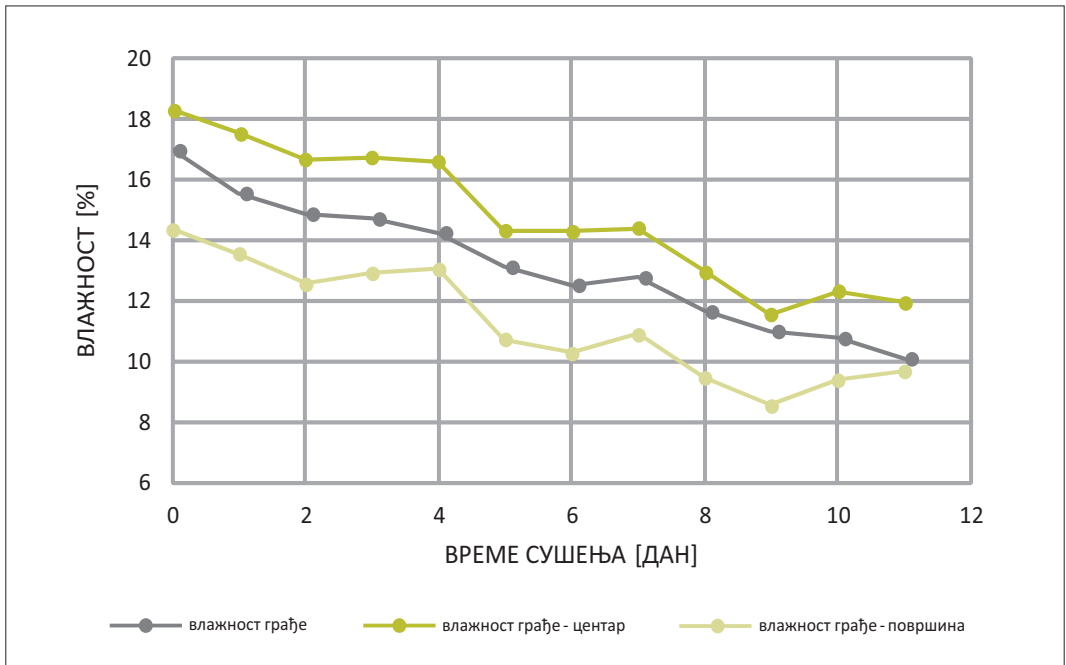
Слика 5. Ток сушења резане грађе субфосилног дрвета храста



Слика 6. Разлика у мерењу влажности сондама у сушари и гравиметријским методом



Слика 7. Распоред влажности по дебелини грађе на почетку и на крају сушења



Слика 8. Промена влажности површинских и централних слојева (по дебелини) у току сушења – приказано на примеру једне даске

вања влажности по дебљини сортимента. За грађу уобичајеног дрвета храста, исте дебљине и трајања кондиционирања, може се очекивати још нижи просечан градијент влажности, око 0,1 %/mm (Milić, Kolin, 2008).

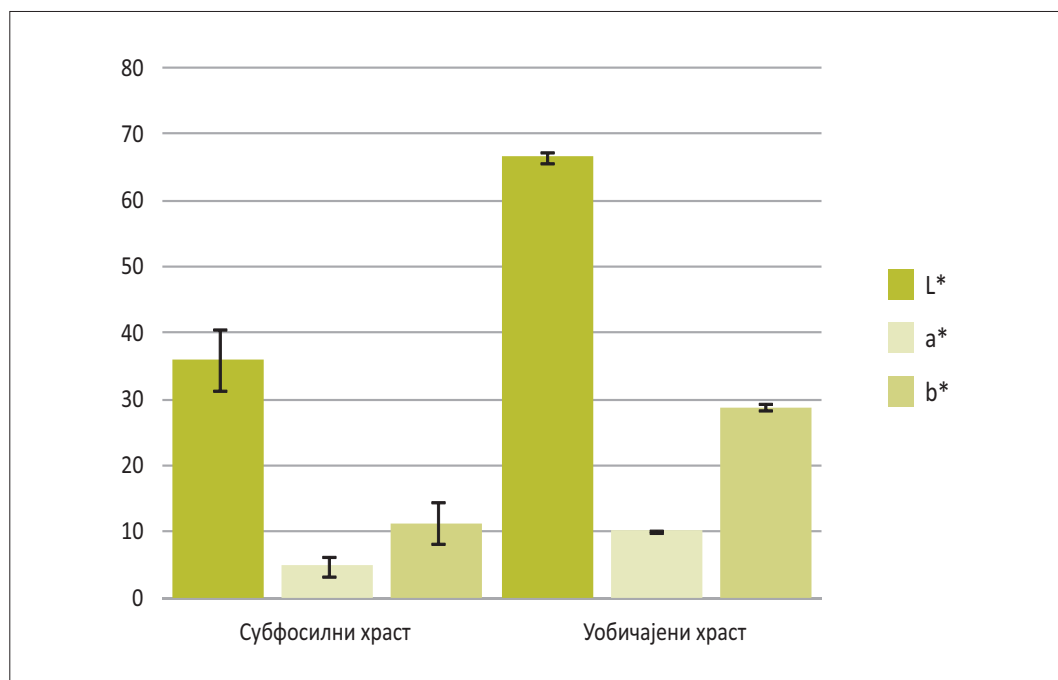
На крају процеса сушења, грађа је имала висок ниво скорелости. Размак, као мера скорелости, мерен након 48 часова био је просечно 2,2 mm (табела 2). Овако велике вредности размака нису очекиване код грађе која има низак градијент влажности. У литератури се наводи значајно смањење модула еластичности код субфосилног дрвета (Maňkovič *et al.*, (2016), Kolář, Rybníček, 2010), што може бити један од узрока високе скорелости. Смањење модула еластичности доводи до повећања деформација при непромењеном напрезању. Према препоруци стандарда CEN/TS (2010) 14464 грађа осушена у овом експерименту има висок ниво скорелости.

Боја субфосилног дрвета храста значајно се разликује од боје уобичајеног дрвета храста која се може наћи у литератури (Miklečić *et al.*, 2012). Укупна разлика у боји је велика ( $\Delta E = 36$ ).

**Табела 2.** Основни показатељи квалитета вештачког сушења ( $\bar{x}$  – средња вредност,  $\sigma$  – стандардна девијација)

Показатељ квалитета	Јед. мере	$\bar{x}$	$\sigma$
Коначна влажност дрвета	(%)	10,6	0,62
Градијент влажности	(%/mm)	0,23	0,03
Размак - скорелост	(mm)	2,2	0,58

Све компоненте имају нижу просечну вредност код субфосилног дрвета (слика 8), при чему је највећа разлика, преко 50%, код компоненте светлине ( $L^*$ ). Стандардне девијације свих параметара су очекивано веће код субфосилног дрвета. Анализом података о боји пре и после сушења може се закључити да је разлика приметна ( $\Delta E = 0,3$ ) и да процес сушења нема значајног утицаја на промену боје субфосилног дрвета. Код субфосилног дрвета храста се јавља разлика у боји централног и спољашњег дела трупца. Разлика је велика, видљива оком, што је у овом раду и потврђено ( $\Delta E = 9,2$ )



**Слика 9.** Параметри боје субфосилног и уобичајеног дрвета храста

## ЗАКЉУЧЦИ

Услови природног сушења дрвета у Србији превише су оштри за сушење субфосилног дрвета храста. Последица тога могу бити бројне пукотине и распуклине на резаној грађи. Препорука је да ово дрво одмах по вађењу из воде треба што пре резати и осушити коришћењем благих режима.

Мерење влажности субфосилног дрвета храста помоћу електровлагомера није поуздано. Влагомер на бази отпорности, подешен за мерење влажности уобичајеног дрвета храста, приказује око 4,5% ниже вредности у односу на гравиметријски добијену влажност.

Иако је претходно природно сушено и кондиционирано, на крају процеса конвенционалног сушења дрво субфосилног храста имало је нешто виши градијент влажности ( $GV = 0,23\% / mm$ ) у односу на очекиване вредности за уобичајено дрво храста.

Контролом квалитета вештачког сушења забележена је повишена скорелост у односу на уобичајене вредности након сушења дрвета храста исте дебљине. Може се претпоставити да је узрок тога смањење модула еластичности код субфосилног дрвета.

Боја субфосилног храста је знатно тамнија од боје уобичајеног дрвета храста. Поред велике варијације боје, специфичан је њен постепен прелаз од светлије, ближе сржи, ка тамнијој, ближе кори. Процес вештачког сушења није имао значајног утицаја на промену боје субфосилног дрвета храста.

**Напомена:** Рад је реализован у оквиру пројекта бр. ТР 31041 и бр. ТР 37008 које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Део резултата је презентован на конференцији „6th International Scientific Conference on Hardwood Processing“ одржаној у Лахтију (Финска) од 25. 9. до 28. 9. 2017.

## DRYING QUALITY AND COLOUR OF SUBFOSSIL OAK FROM CENTRAL SERBIA

Marko Veizović, teaching assistant, University of Belgrade - Faculty of Forestry (marko.veizovic@sfb.bg.ac.rs)  
Zdravko Popović, full professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry  
Nebojša Todorović, assistant professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry  
Goran Milić, associate professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry

**Abstract:** The subject of this paper is the analysis of the quality of natural and conventional drying of subfossil oak wood. In addition to the drying quality, the colour of this material, as well as the effect of the drying process on colour change have been tested. The subfossil oak logs that were used in this experiment originate from the Morava River in Central Serbia. After sawing, timber was air-dried to about 20% moisture content (MC) followed by kiln-drying to 9.5% MC. By examining the quality of air-drying of the subfossil oak wood, a high presence of cracks was found, as well as the inaccuracy of humidity measurement using electric moisture meters. The stack for kiln-drying consisted of 24 boards, of which 4 were used for the monitoring of MC and MC distribution across the thickness of plank during drying. Drying quality was evaluated after the kiln-drying process. Although mild drying conditions during kiln-drying were applied, the gap as a measure of case-hardening had a value greater than usual for oak of same thickness. It was found that the drying process has no significant effect on the change in the colour of subfossil wood. The colour of the subfossil oak wood was significantly darker than the usual oak wood, and the colour difference between the central and the outer parts of the trunk of the subfossil oak was determined.

**Keywords:** subfossil oak, drying quality, wood colour



## INTRODUCTION

Subfossil wood is unfossilized wood deposited in rivers, swamps or moraine sediments for hundreds or thousands of years. In anaerobic conditions wood is protected from the main factors that affect its degradation - xylophagous insects and lignicolous fungi, and it can be preserved for an extremely long period of time. Although it is protected against the influence of fungi and insects, many processes take place in wood over time. The most important is fossilization – the replacement of organic compounds with inorganic ones, which can ultimately lead to the carbonization or petrification of materials (Christiernin *et al.*, 2009). The wood in which the fossilization process has begun, but has not been completed, is considered to be subfossil. So far, the oldest found subfossil oak logs are about 11 thousand years old (Sinković *et al.*, 2009). In addition to fossilization, a number of other processes occur in wood (hydrolytic degradation, decomposition of basic structural elements and mineralization). These processes are caused by different conditions of the environment in which the wood is deposited (temperature, acidity, the presence of oxygen, water, etc.) Kolář *et al.* (2012) state that the impact of the environment in which the wood was deposited on the changes in chemical composition prevails over the effect of time.

The change in colour is the most obvious difference between subfossil and recent oak wood. The colour of wood turns to gold-brown, dark gray or black in the outer layer of the trunk. It is caused by the reaction of the ferric components from the water and the tannins present in oak (Bürck *et al.*, 2012). The intensity of the shade is primarily determined by the time during which the wood has been deposited in water and soil (Kolář, Rybníček, 2010). In previous research of the subfossil oak wood its properties were mainly investigated and only a few papers are related to the drying of this material. The aim of this study is to analyze the quality of air-drying and conventional drying of

subfossil oak wood. An additional goal is to determine and quantify the colour of subfossil oak wood originating from central Serbia and to determine if there is a change in colour during the drying process.

## MATERIAL AND METHODS

The research involved trunks of subfossil Oak (*Quercus spp.*) which have been deposited under the surface of alluvial plains of the Great Morava River in Central Serbia. Unedged timber was obtained after sawing. The nominal thickness of the boards was 25 mm, the width was 15-40 cm and the length 2m. Timber was stacked for air-drying for the period of about six months and then delivered to the Laboratory for wood properties at the University of Belgrade - Faculty of Forestry. The moisture content was determined using both conductance and capacitance moisture meters, but also by the oven-drying method. A total of 24 boards were kiln-dried and used for further research. The lumber was conventionally dried in the laboratory kiln with the capacity of around 0.8 m<sup>3</sup> of timber (stack 2.0 m x 0.7 m and 12 rows in height). The kiln consists of two reversible fans, cold water humidification system, electrical heating elements and computer control regulation with eight probes for measuring timber moisture content (MC), and two sensors for measuring temperature and equilibrium moisture content (EMC). The probes were evenly distributed in the first 10 rows, while the planks from two rows from the top served for cropping the samples. These samples were used for tests during the drying process. By visual inspection of the material, during the formation of the stack, a large presence of cracks and fissures was found. In order to avoid their further expansion during the kiln-drying process, a mild schedule was used with the temperature not exceeding 40 °C (Table 1). At the end of the drying process, the conditioning and cooling phases were applied.

**Table 1.** Conventional drying schedule (subfossil oak, 25 mm)

MC (%)	21.2	20	16	12	Conditioning
Temperature (°C)	30	30	32	40	37
EMC (%)	9	7	6	5	9

Control boards (11 pcs.) were selected for testing the quality of air and kiln-drying. From these boards, three samples for determination of the properties of dried wood were cut out (Figure 1): (a) final moisture content, (b) case-hardening, MC distribution across thickness (c). MC determination was done gravimetrically (EN 13183-1: 2002), but before the beginning of kiln-drying, MC was also measured using electro moisture meters. The distribution of moisture across thickness was calculated as the difference in the moisture content of the central and external lamellas (there were a total of 5 lamellas for each sample). The gap, as a measure of case-hardening, was measured after 48 hours. Four control boards were used to monitor the drying process and from them samples were cut out every day (Figure 2) for determining MC (a) and MC distribution across thickness (c).

The colour was measured using Easyco, manufactured by Erichsen. The diameter of the lenses was 10 mm, the device was set at the observing angle of 10°, and illumination D65 for daylight. Measurements were made on marked places before and after the kiln-drying process, so it was possible to see if there is a difference. The difference in colour of the central and outer layers of the subfossil wood trunk was measured too. It was measured on the central flat sawn boards from the pith to the bark with a 2 cm step.

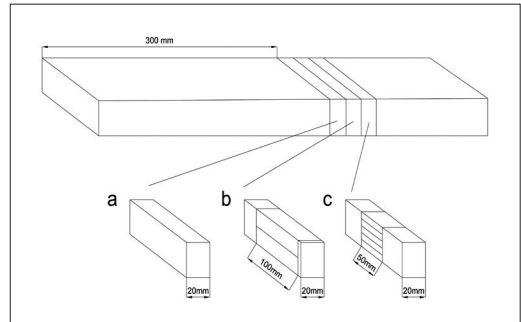
Based on the obtained coordinate values, the colour difference was determined according to the following formula:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

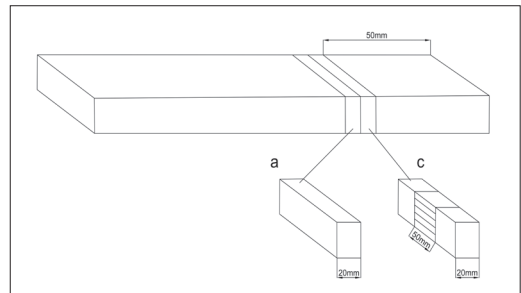
The classification was made according to the criteria shown by Allegretti *et al.*, (2008).

## RESULTS AND DISCUSSION

The visual inspection of subfossil oak boards has shown that there were too many cracks and fissures after air-drying (Figure 3). These are the consequence of the rapid loss of water from the wood after the removal of logs from water and sludge. Considering that subfossil oak timber was subjected to air-drying procedures commonly applied to recent oak in industrial practice its poor



**Figure 1.** Sample preparation for the determination of: a – moisture content, b – case-hardening, c – distribution of MC across thickness



**Figure 2.** Preparation of samples for determining MC (a) and MC distribution across thickness (c) during the drying process.



**Figure 3.** The colour difference and the large presence of cracks in subfossil oak wood (left), compared to recent oak wood (right)

condition afterwards showed that air-drying is not suitable for this material. It should be kiln-dried immediately after sawing with the use of a specific drying schedule. The recommendation is to put the wood in the conditions of air humidity of RH > 90%.

The MC of the wood measured by electro moisture meters differs from the MC obtained gravimetrically. Although the MC of the boards was within the range in which the capacitance moisture meter should be reliable, values of MC (at a density setting of 0.65 g/cm<sup>3</sup>) were significantly lower than the real values, with a difference of about 10% (Figure 4). The MC values of the wood measured by the conductance moisture meter were closer to the real values. In case of correction for the type of wood to the third group where the oak wood belongs, the difference compared to the gravimetric method was about 4.5%. For the correction for the type of wood in the fourth group, the difference was less than 1%. For this reason, the automatic drying process was adjusted, so that the probes could measure moisture with a correction to the fourth group of wood types. After air-drying, the distribution of MC across thickness was very uniform. The moisture gradient (MG) after natural drying was 0.33 %/mm.

From the time when the subfossil oak wood was delivered to the laboratory to the beginning of kiln-drying, there was a loss of moisture from the wood, so the initial MC of the wood for kiln-drying (measured gravimetrically) was 18.4%. The final MC was 10.6% (Figure 6) and the process lasted about 265 hours. In the initial drying phase, the

oscillation of the given EMC and the large deviation of the actual from the given EMC can be observed. These deviations were the result of a technical error that has been corrected and in the remaining part of the drying process, the set parameters were mostly realized.

Depending on the method for measuring the moisture content, different results were obtained. The final MC measured by the probes in the kiln was (9.4%) and the actual final MC of the wood – measured gravimetrically was 10.6%. This deviation occurred throughout the drying process and its value ranges from 0.8% to 1.5% (Figure 6).

Moisture gradient at the end of the kiln-drying process was 0,23 %/mm (Figure 7). This value meets the requirements for the high drying quality, which was expected because the wood was previously air-dried and conditioned after the kiln-drying process. The change of the humidity gradient during the drying is shown on the example of a representative board (Figure 8). On the basis of the MC profile, it can be seen that during the drying process, a slight uniformity of moisture content across thickness was obtained. For the recent oak wood of the same thickness and duration of conditioning, an even lower average moisture gradient, about 0.1%/mm can be expected (Milić, Kolin, 2008).

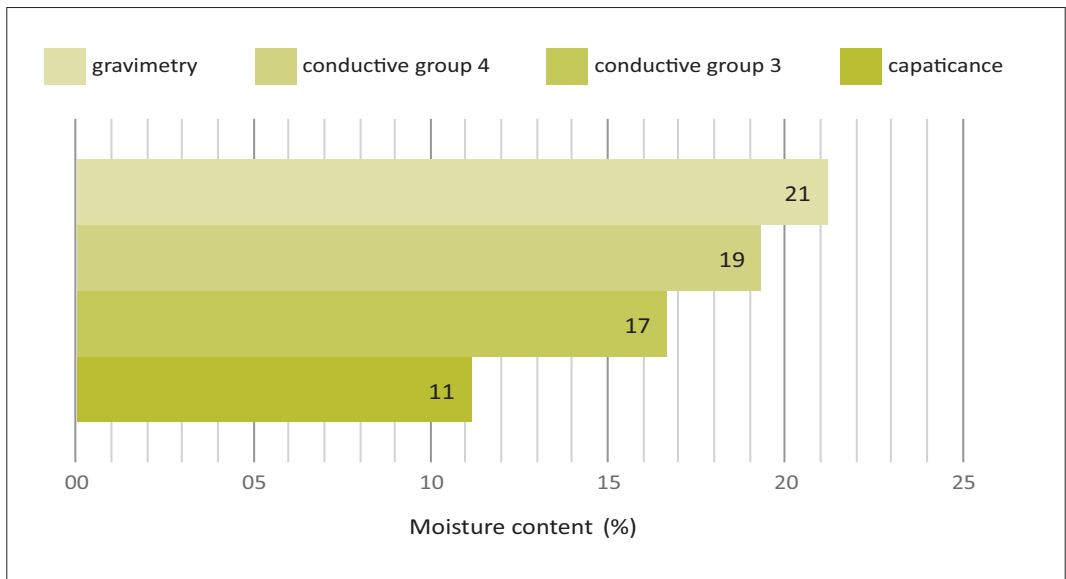


Figure 4. The measured MC of the subfossil oak depending on the method of measurement

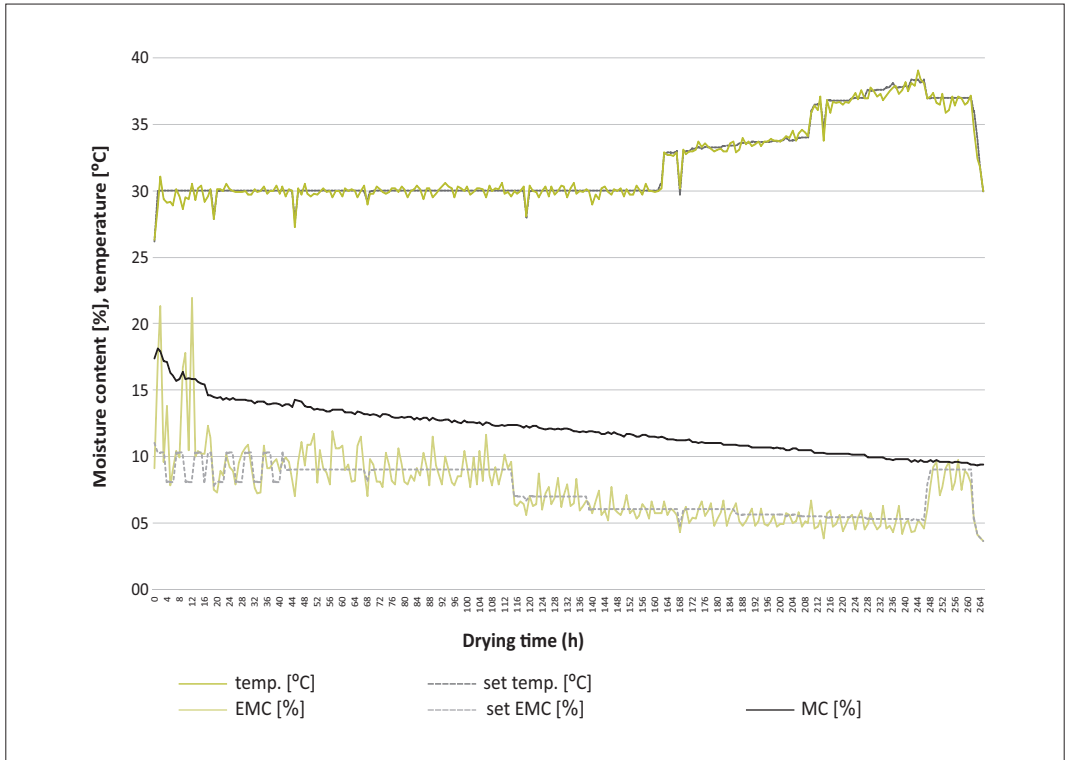


Figure 5. The drying process for the subfossil oak wood

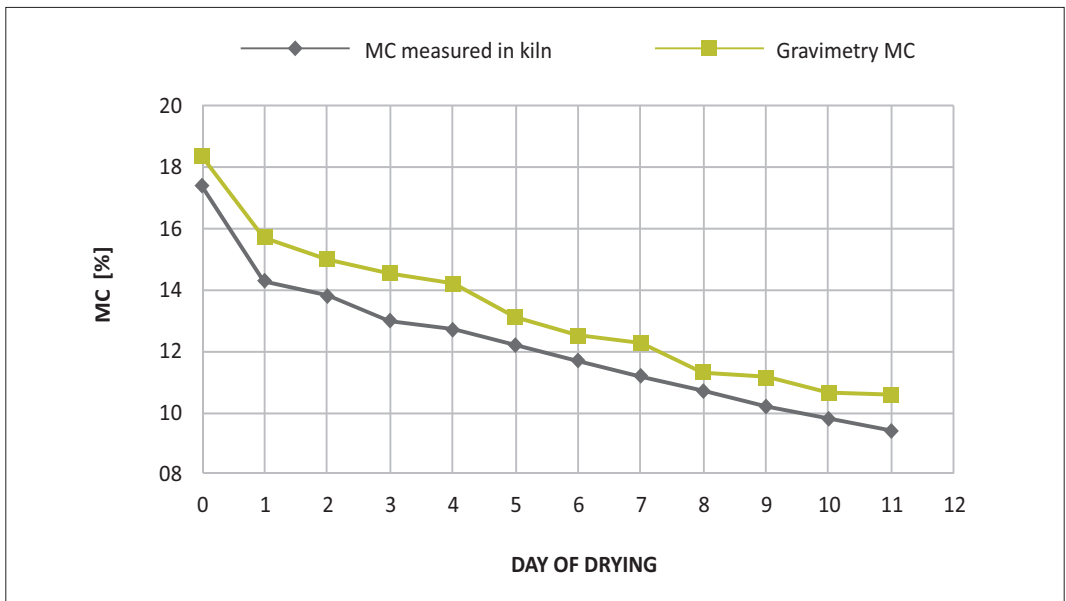


Figure 6. The difference in the MC of wood, measured by probes in kiln and the gravimetric method

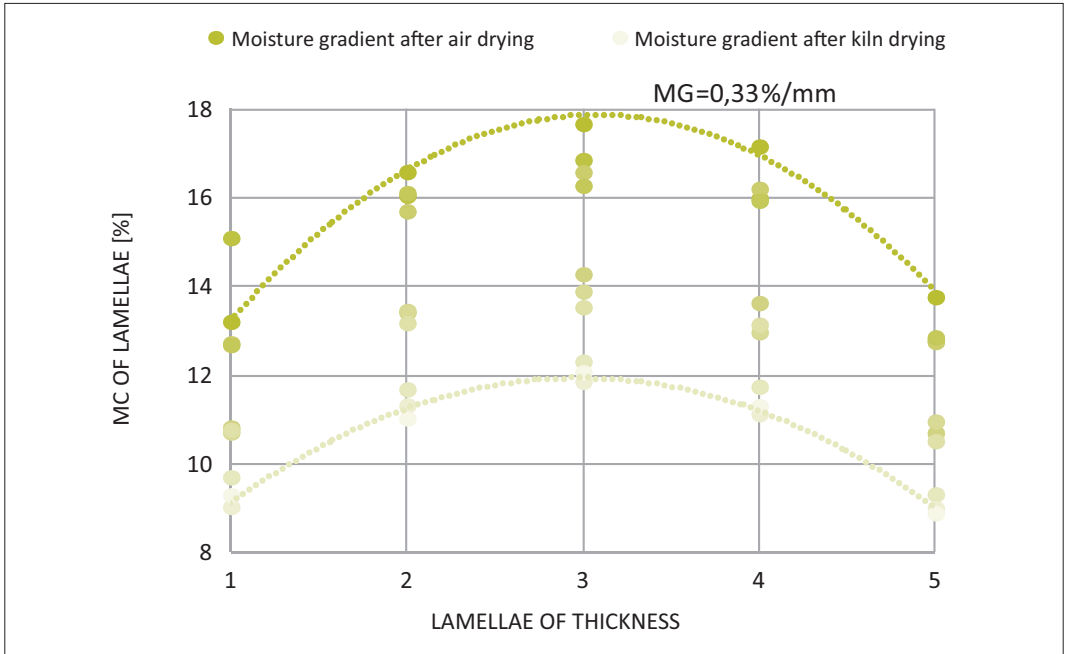


Figure 7. MC across thickness of the plank at the beginning and at the end of the drying process

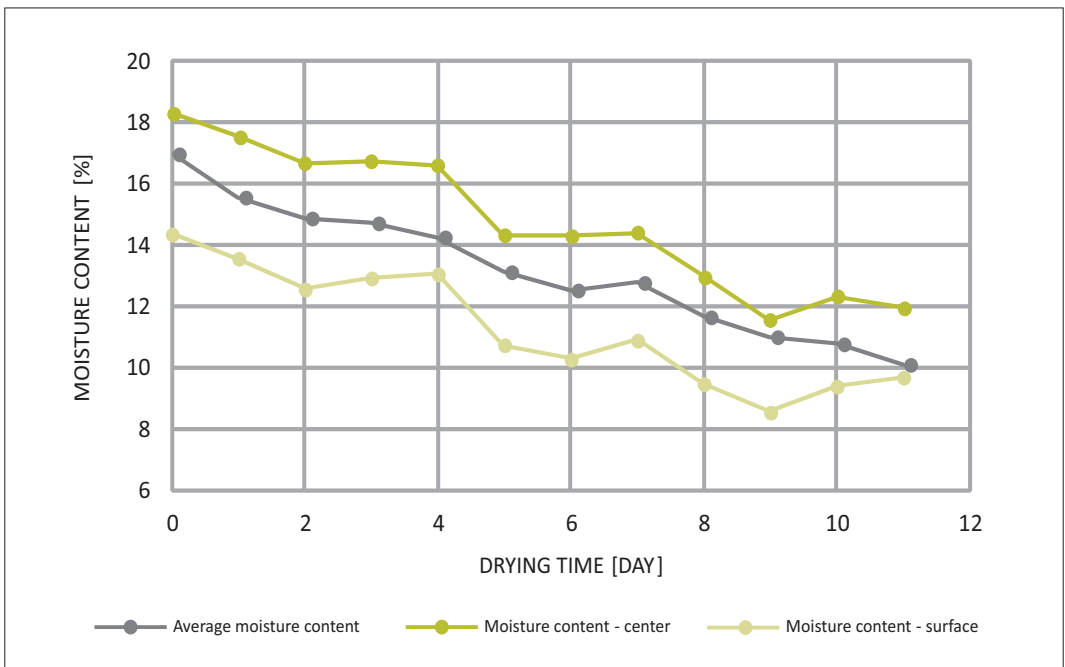


Figure 8. The change of MC of the surface and central layers (in thickness) during drying - shown on the example of a single board

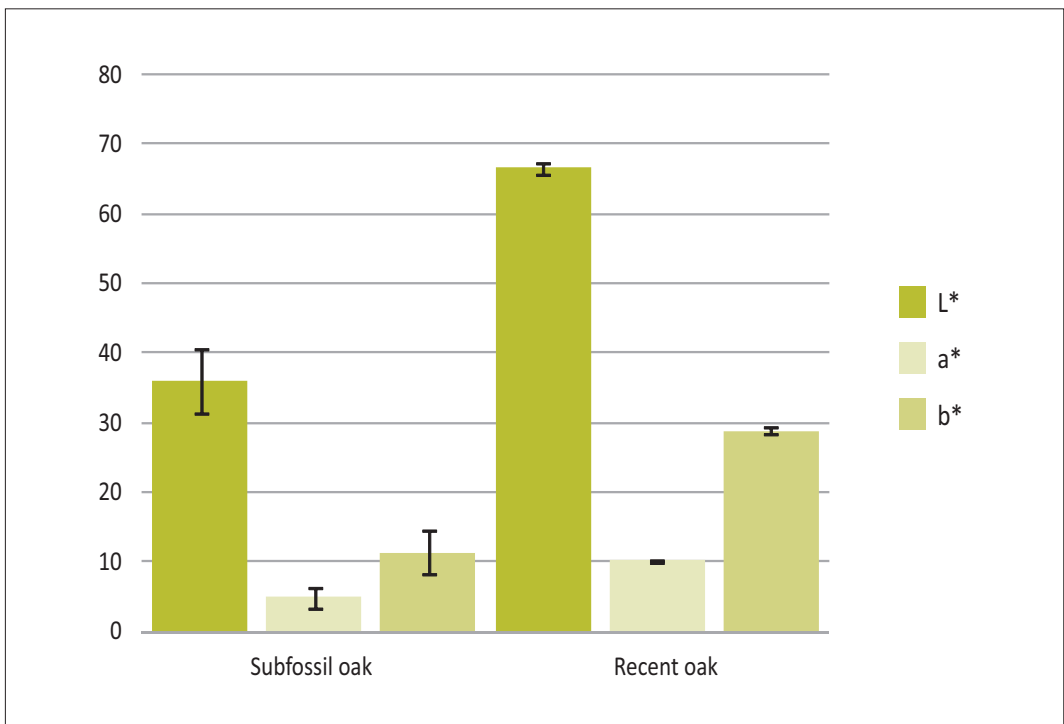
At the end of the drying process, quality control showed severe case-hardening. The gap, as a measure of case-hardening, was measured after 48 h of conditioning and its average value was 2.2 mm (Table 2). Such high gap values are not expected in materials with a low moisture gradient. The literature indicates a significant reduction of the MOE in the subfossil oak wood (Mańkovski *et al.*, 2016; Kolář, Rybníček, 2010), which can be one of the reasons for severe case-hardening. The reduction of MOE leads to an increase in deformation at the unchanged stress level. According to the CEN/TS (2010) 14464 recommendation, the wood dried in this experiment had severe case-hardening.

The colour of the subfossil oak differs from the colour of the recent oak wood which can be found in the literature (Miklečić *et al.*, 2012). The total colour difference was high ( $\Delta E = 36$ ). All components had a lower average value in the subfossil wood (Figure 8), with the largest difference of over 50%, in the lightness component ( $L^*$ ). As expect-

**Table 2.** The basic kiln-drying quality indicators ( $\bar{x}$  – mean,  $\sigma$  - standard deviation)

Quality indicator	Unit of measurement	$\bar{x}$	$\sigma$
Final MC	(%)	10.6	0.62
Moisture gradient	(%/mm)	0.23	0.03
Gap – case-hardening	(mm)	2.2	0.58

ed, the standard deviations of all parameters were higher in the subfossil wood. By analyzing the colour data before and after drying, it can be concluded that the difference is imperceptible ( $\Delta E = 0.3$ ) and that the drying process does not have a significant effect on the change in the colour of the subfossil oak wood. In this material, there is a difference in the colour of the central and the outer part of the log. The difference is significant and visible to the eye, which is confirmed by the measurements ( $\Delta E = 9.2$ )



**Figure 9.** Colour parameters for the subfossil and recent oak wood

## CONCLUSIONS

Air-drying is not suitable for this material since its consequences can be cracks and fissures. It should be kiln-dried immediately after sawing with the use of a specific drying schedule.

Measurement of subfossil oak wood MC using an electric moisture meter is not reliable. The conductance moisture meter, set to the third group for the type of wood, where oak belongs, shows by about 4.5% lower value compared to the gravimetrically obtained MC of the subfossil oak wood.

Although this wood was previously air-dried and conditioned at the end of the kiln-drying process, the moisture gradient ( $MG = 0,23 \text{ \%}/\text{mm}$ ) had a higher value than expected for the recent oak.

The gap, as a measure of case-hardening, had a higher value than usual for oak of same thickness. The lower value of the modulus of elasticity can be one of the reasons for the increased gap values after kiln-drying.

The subfossil oak is considerably darker in colour compared to the recent oak wood. Gradual colour change from the center to the outer layers of the trunk is specific for the subfossil oak wood. The conventional kiln-drying process had no significant effect on the colour change of the subfossil oak wood.

**Note:** This research was realized within projects TR 31041 and TR 37008 financed by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia. It was partially presented at the Conference "6th International Scientific Conference on Hardwood Processing" held in Lahti (Finland) from 25.09. to 28.09.2017.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Allegretti, O., Travan, L., and Cividini, R. (2008): Drying techniques to obtain white beech, *ProLigno* 4 (1): 11-19
- Bürck, U. V., Wagner, F. E., Lurf, A. (2012): Mössbauer studies of subfossil oak, *Hyperfine Interact* 208: 105–110
- Christiernin, M., Notley, S. M., Zhang, L., Nilsson, T., Henriksson, G., (2009): Comprasion between 10,000-year old and contemporary spruce lignin, *Wood Science and Technology* 43(1-2): 23-41
- Kolář, T. i Rybníček, M. (2010): Physical and mechanical properties of subfossil oak (*Quercus*, sp.) wood, *Acta univ. Agric et silvic. Mandel. Brun.* 43 (4): 123-134
- Kolář, T., Gryc V., Rybníček, M., Vavřík, H. (2012): Anatomical analysis and species identification of subfossil oak wood, *Wood research* 57 (2): 251-264
- Mańkowski, P., Kozakiewicz, P., Drożdżek, M. (2016): The selected properties of fossil oak wood from medieval burgh in płońsk, *Wood research* 61 (2): 287-298
- Miklečić, J., Kaša, A., Jirouš-Rajković, V. (2012): Colour changes of modified oak wood in indoor environment, *Eur. J. Wood Prod.* 70: 385–387
- Milić, G. i Kolin, B. 2008. Moisture content distribution across thickness of kiln-dried oak and beech lumber during conditioning phase, *Holz Roh Werkst* 66: 83-87
- Sinković, T., Govorčin, S., Dubravac, T., Roth, V., Sedlar T. 2009. Comparison some physical and mechanical properties of abonos and recent oak (*Quercus robur* L.), *Šumarski list*, 11-12: 605-611
- (2010): CEN/TS 14464 Sawn timber – method for assessment of case-hardening
- (2002): EN 13183-1 Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method

