

UDK: 674.046/.047:674.031.632.2

Оригинални научни рад

DOI: 10.2298/GSF1512083M

УТИЦАЈ ПАРЕЊА НА КВАЛИТЕТ СУШЕЊА И БОЈУ РЕЗАНЕ ГРАЂЕ БУКВЕ

др Горан Милић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

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

др Ранко Попадић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

Извод: У раду су приказани резултати анализе утицаја тзв. благог парења на конвенционално сушење и боју тако осушене резане грађе букве. Осушена је шаржа која се састојала од парених и непарених дасака. Праћени су влажност и профили влажности током сушења, а на крају сушења су одређивани коначна влажност, разлика влажности по дебљини грађе, скорелост и боја. Статистички значајна разлика између парене и непарене грађе није утврђена ни код једног испитиваног параметра. Резултати показују да се може очекивати исти (или чак бољи) квалитет сушења парене букве грађе у односу на непарену сушену истим режимом. Осушена парена резана грађа је имала тамнију боју са већим учешћем црвене у односу на непарену грађу. Утврђена је непрецизност мерења влажности пареног и непареног дрвета букве у сушари у подручју влажности 7-15% и дата препорука за превазилажење овог проблема.

Кључне речи: резана грађа букве, парење, квалитет сушења, боја

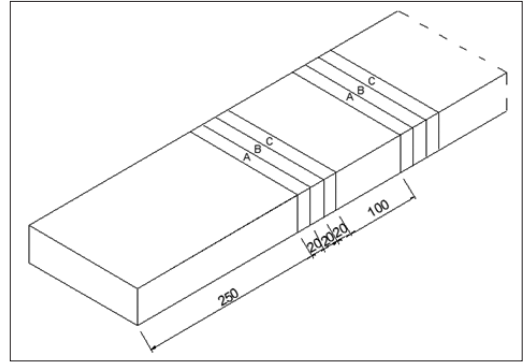
УВОД

Парење резане грађе је поступак који се у дрвној индустрији примењује већ деценијама. То је процес у ком се на дрво делује засићеном воденом паром са неким од следећих циљева (Pervan 2009): промена боје, смањење хигроскопности, уједначавање влажности по дебљини грађе пре вештачког сушења, омекшавање дрвета ради касније обраде или савијања, стерилизација, ублажавање колапса. На резултате у погледу ових циљева увелико утичу трајање парења, примењена температура (нпр. Tolvaj *et al.* 2010), као и притисак паре. Промена боје, као најчешћи циљ, обично се приписује хидролизи екстрактива и полифенолним једињењима која настају током парења (Straže *et al.* 2008), али резултати парења у великој мери зависе од врсте дрвета (Varga i van der Zee 2008).

Парење резане грађе у већини случајева спроводи се на сировом дрвету, пре вештачког сушења. Нека истраживања (нпр. Alexiou *et al.* 1990, Harris *et al.* 1989, Мајка i Olek 2007) показала су да је брзина сушења пареног дрвета већа у односу на непарено (првенствено у над-хигроскопном подручју). Супротстављена су мишљења о значају утицаја парења на хигроскопна својства дрвета. Тако, Unsal i Ayrlimis (2004) наводе да су промене равнотежне влажности после парења грађе мерљиве, али не и значајне са практичне тачке гледишта. С друге стране, Мајка i Olek (2007) и Todaro *et al.* (2012) забележили су знатно ниже равнотежне влажности након парења дрвета букве, односно цера.

Букова грађа парена „на црвено“ била је популарна деценијама. У последњих дваде-

сетак година, на тржишту се чешће тражи тзв. светлопарена букова грађа. Овај се захтев најчешће остварује применом нижих температура и краћим трајањем парења. Циљ овог рада је утврђивање утицаја оваквог парења на конвенционално сушење резане букове грађе с аспекта влажности и профила влажности током сушења, као и коначног квалитета сушења. ДETERМИНАЦИЈА И КВАНТИФИКОВАЊЕ БОЈЕ ОСУШЕНЕ ПАРЕНЕ РЕЗАНЕ ГРАЂЕ БУКВЕ ЈЕ ТАКОЂЕ БИО ЈЕДАН ОД ЦИЉЕВА ИСТРАЖИВАЊА.



Слика 1. Шема изрезивања узорака током сушења

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

Испитивање је вршено на пареној и непареној резаној грађи букве (*Fagus sylvatica* L.) дебљине 50 mm и дужине 2,1 m. Ширина дасака је износила 12-30 cm. Сва грађа је била без лажног срца. Парење је извршено у индустријској парионици капацитета 20 m³ и то поступком тзв. благог парења ког карактерише слагање грађе на летвице, ниже примењене температуре и краће време у односу на уобичајени поступак парења. Укупан процес парења је трајао 23 часа, а температура током парења је износила 80°C (Табела 1).

Конвенционално сушење је спроведено у лабораторијској сушари капацитета 0,8 m³. Опрему сушаре чине два реверзибилна вентилатора, систем за навлаживање хладном водом, измењивачи топлоте и аутоматика за вођење процеса са осам сонди за мерење влажности дрвета и два мерна места за темпера-

туру и равнотежну влажност. Фаза загревања је спроведена са порастом температуре 3°C/h. Коришћен је режим сушења (Табела 2) који је уобичајен у Србији (Milić et al. 2013). На крају сушења је спроведено кондиционирање (18 часова, 58°C, $u_r=11\%$). Резана грађа је сушена до 10% влажности, мерено сондама у сушари.

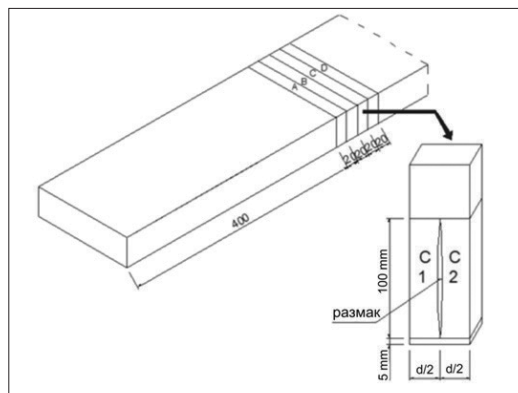
Сушен је сложај који се састојао од 17 парених и 17 непарених дасака слаганих у наизменичне редове. Свим даскама је пре сушења мерена маса, а на изабраних 14 дасака (7 парених и 7 непарених) и димензије. Сонде за мерење влажности су убодене у 4 парене и 4 непарене даске. Ширина сложаја је износила 60 cm, дужина 2,1 m, а по висини је постављено 10 редова дасака. На врх последњег реда дасака постављени су бетонски блокови (за смањење деформација), као и две даске (парена и непарена) које су служиле за изрезивање узорака током сушења (Сл. 1).

Табела 1. Режим парења (резана грађа букве, 50 mm)

Фаза	Време (h)	Температура (°C)
Загревање	12	до 80°C
Парење	8	80°C
Хлађење	3	-

Табела 2. Режим конвенционалног сушења (резана грађа букве, 50 mm)

Влажност (%)	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Темпер. (°C)	37	38	38	38	38	40	43	47	52	58	62	62
Равн. влажн. (%)	15.5	15.5	15	14.5	14	13.5	12.5	9.5	7	5.5	4.5	4



Слика 2. Узорци за одређивање коначне влажности (А и D), профила влажности (В) и мерење размака (С)

Узорци А и С су служили за одређивање влажности гравиметријским методом, а узорак В је коришћен за одређивање профила влажности по дебљини (изрезивано је 10 ламела) током сушења. Изрезивање епрувета је вршено укупно 10 пута у следећим временским интервалима: 0, 48, 96, 144, 192, 264, 336, 432, 504 часова и на крају сушења. На крају сушења је поново мерена маса свим даскама, а контролним даскама и димензије. Из свих 14 контролних дасака су потом изрезани узорци (Сл. 2) за одређивање коначне влажности (узорци А и D), профила влажности (узорци В) и заосталих напрезања (узорци С). Мерење размака је вршено после 48 часова. Разлика влажности по дебљини грађе је израчунавана као разлика између влажности централних и влажности површинских ламела. Дебљина сваке ламеле износила је око 5 mm.

Израчунате су просечне вредности за коначну влажност, разлику влажности по дебљини и размак, као и стандардне девијације за ове параметре. Поређени су резултати за парену и непарену резану грађу. За утврђивање статистички значајних разлика коришћен је т-тест.

После сушења, парена и непарена грађа су обрुшене и уређајем Erichsen EasyCo (D65 извор светла, 10° угао) мерене су координате боје у CIE L*a*b* систему (L* – светлина, a* - црвена нијанса, b* - жута нијанса). Разлика у боји (ΔE) између узорака парене и непарене букве је израчуната и класификована на уобичајен начин (нпр. Allegretti *et al.* 2008).

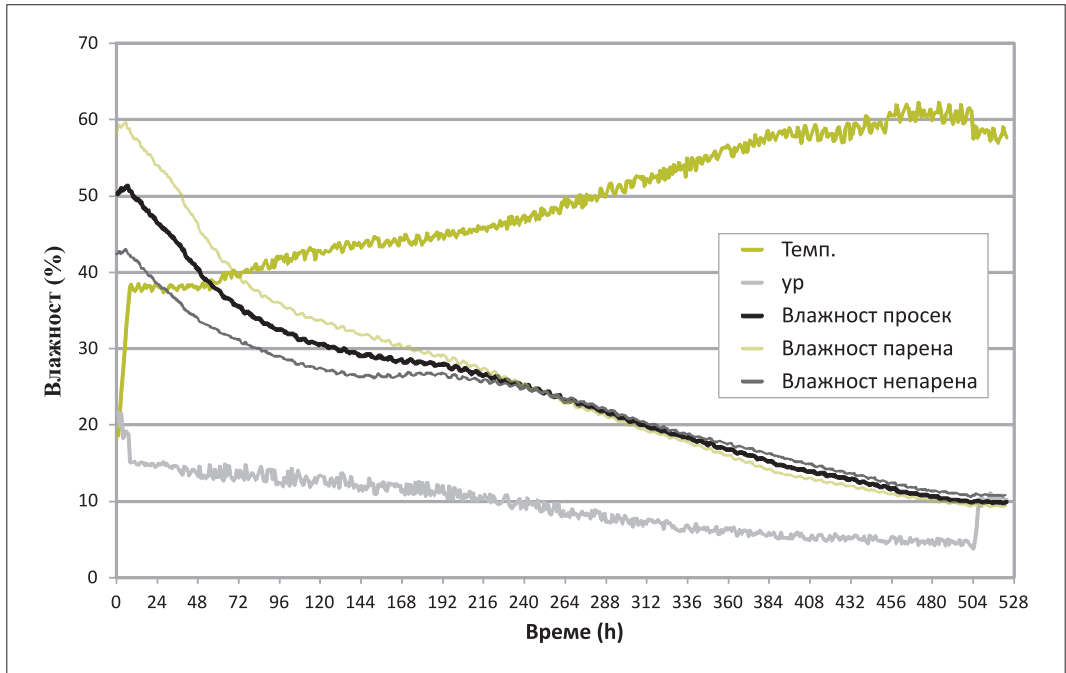
РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Циклус сушења (укључујући фазе загревања и кондиционирања) трајао је 523 часа (Сл. 3). Просечна почетна влажност, мерено сондама у сушари, износила је око 50%, при чему је просек четири сонде убођене у парену грађу износио 58%, а у непарену 42%. Ова разлика је јасно видљива у првих осам дана сушења, да би потом (испод 25-27% влажности) криве сушења биле сличне све до краја. Брже сушење парених дасака у првим данима сушења је великим делом делом узроковано вишом почетном влажношћу. Истовремено, то је сагласно са резултатима претходних истраживања (Harris *et al.* 1989, Мајка и Olek 2007).

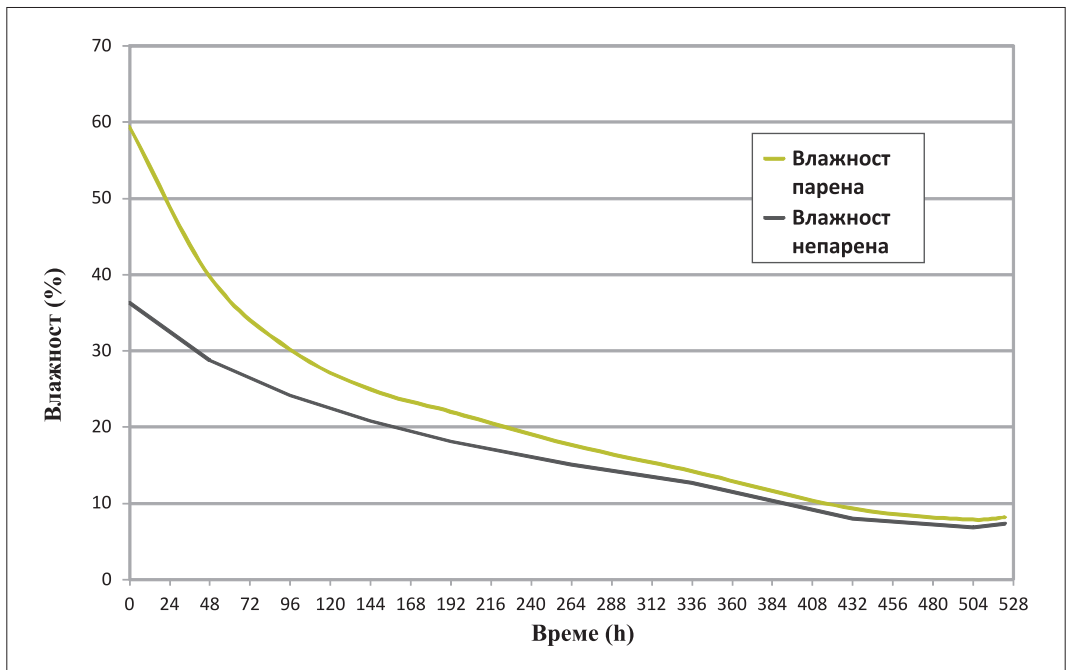
Криве сушења дасака на врху слојаја добијене на основу гравиметријски одређиване влажности имају сличан тренд (Сл. 4), с тим што је њихово приближавање остварено још касније (испод 20% влажности). Ово је последица ниже почетне влажности непарене даске у односу на мерења сонди у сушари.

С обзиром на различиту почетну влажност, очекиван је и различит профил влажности по дебљини парене и непарене даске у првим данима сушења (Сл. 5). Површински слојеви (дебљине приближно 5 mm) парене даске улазе у хигроскопно подручје после око 50 часова сушења (укључујући загревање), док је по читавој дебљини влажност испод 30% после 200 часова сушења. Због ниске почетне влажности, читава дебљина непарене даске је испод 30% већ после 96 часова сушења. Чак и после 336 часова (14 дана) сушења, профил влажности је јасно оштрији код парене у односу на непарену даску. На самом крају сушења, као и после фазе кондиционирања, профили влажности су слични.

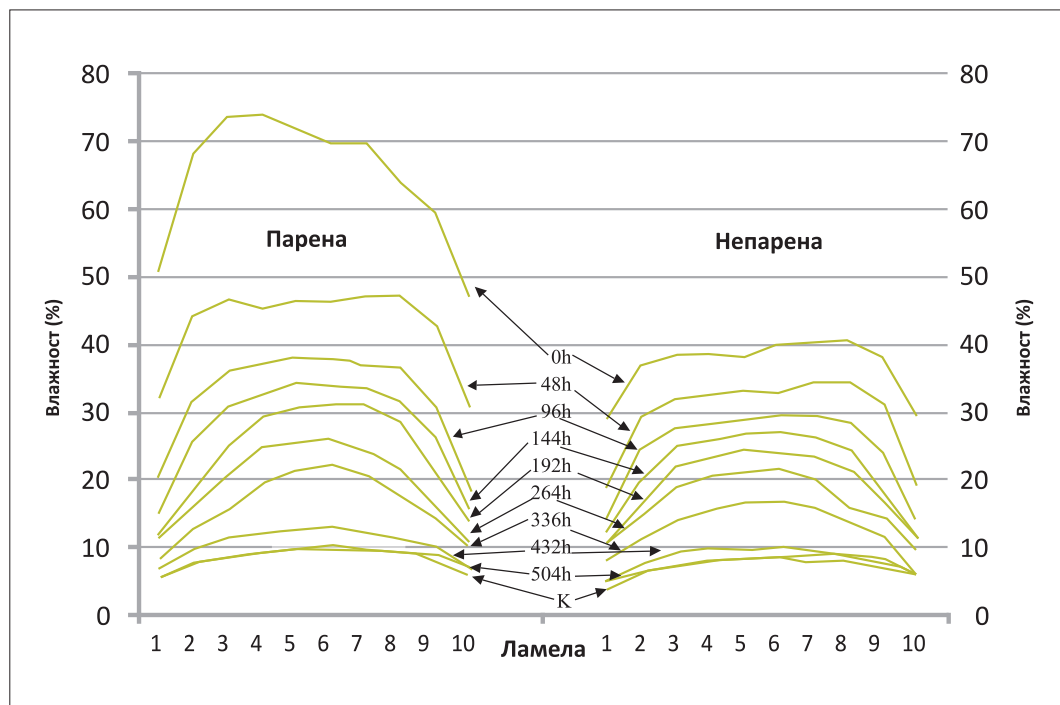
Просечна коначна влажност одређена гравиметријски за 14 испитаних дасака је износила 7,1% (СД 0,9%). Просечна почетна влажност одређена на основу коначне влажности и маса дасака пре и после сушења је износила 43.9% (СД 6.5%). Просечне почетне и коначне влажности за парене и непарене даске приказане су у Табели 3. Није утврђена статистички значајна разлика између парених и непарених дасака ни за почетну, ни за коначну вла-



Слика 3. Криве сушења (за парену грађу, непарену грађу и просечна), температура и равнотежна влажност током сушења шарже



Слика 4. Криве сушења за парену и непарену даску (одређене гравиметријски)



Слика 5. Профиле влажности по дебљини грађе (лево – парена даска; десно – непарена даска)

жност. И поред тога, на основу разлике између почетне и коначне влажности, јасно је да је просечна брзина сушења била нешто већа парене (0,076%/ч) у односу на непарену грађу (0,065%/ч).

Почетна влажност измерена сондама у сушари на непареним даскама је већа у односу на гравиметријски одређену влажност и то за 2–6%. Код парених дасака то одступање је веће и износи 4–24%. И код коначних влажности, сонде су показивале више вредности од стварних (за 0,4–6%). Битно је истаћи да је читав циклус сушења спроведен са изабраним

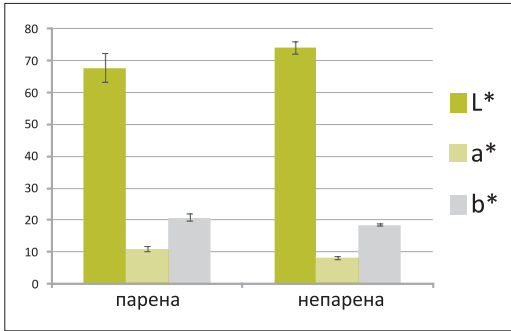
типом дрвета број 3 (што произвођач прописује за букву). Анализа показује да би требало кориговати криву у аутоматици (зависност електрични отпор – влажност) у подручју влажности дрвета између 7 и 15% и то тако да буде приближна криви за типове дрвета са ознаком 2 (где спада парена буква), бар при мерењу на високим температурама карактеристичним за ово подручје влажности. Тако би се избегло пресушивање резане грађе букве.

Просечна разлика влажности по дебљини за 14 испитаних дасака износила је 2,8% (СД 1,5%). Није утврђена статистички значајна ра-

Табела 3. Почетна и коначна влажност, разлика влажности по дебљини и величина размака за парену и непарену грађу

	Парена резана грађа	Непарена резана грађа
Почетна влажност (%)	46,4 (8,2)	41,5 (3,5)
Коначна влажност (%)	6,8 (0,7)	7,5 (1,0)
Разлика влажности по дебљини (%)	2,4 (0,8)	3,2 (1,9)
Размак (mm)	1,5 (0,4)	1,8 (0,5)

Стандардна девијација у заградама



Слика 6. Координате боје (са стандардним девијацијама) парене и непарене резане грађе

злика између парених и непарених дасака ни по овом критеријуму. Ипак, ако се узме у обзир да је почетна влажност парених дасака била нешто већа, очекивана је била и већа разлика у влажности по дебљини парених дасака. Резултати то нису потврдили што указује да је, при истим почетним влажностима и истом режиму сушења, могуће очекивати чак и равномернији профил влажности на крају сушења парене резане грађе. Просечан размак, као мера скорелости, за 14 испитаних дасака износио је 1,6 mm (СД 0,4 mm). Разлика у величини размака између парене и непарене грађе није статистички значајна. Ипак, као и код разлике влажности по дебљини, може се претпоставити да је могуће, при истим почетним влажностима и истом режиму сушења, остварити чак и виши квалитет сушења парених дасака.

Благо парење је имало значајан утицај на промену боје резане грађе букве. Просечна L* вредност је нижа код парене букве (Сл. 6), док су a* и b* вредности више. Као што је очекивано, стандардне девијације свих параметара боје су знатно веће на пареној у односу на непарену грађу. Укупна разлика у боји између парене и непарене грађе је висока ($\Delta E=7.3$).

ЗАКЉУЧЦИ

Утврђено је брже сушење благо парених дасака у натхигроскопном подручју влажности у односу на непарену грађу, што је великим делом узроковано вишом почетном влажношћу.

Криве сушења испод 25% влажности су сличне за парене и непарене даске.

Профили влажности по дебљини грађе током сушења су показали да су централни слојеви парених дасака, због више почетне влажности, знатно касније ушли у хигроскопно подручје влажности у односу на непарене даске. Ово ипак није довело до неуједначенијих профила влажности и веће скорелости парених дасака на крају сушења. Статистички значајна разлика између парене и непарене грађе није утврђена ни код једног испитиваног параметра (влажност, разлика влажности по дебљини, размак), чак су просечне вредности разлике влажности по дебљини и размака биле мање (уз мању стандардну девијацију) код парених дасака. Показано је да се уобичајени режим сушења за непарену букву може користити и за благо парену грађу, али су потребна додатна испитивања како би се утврдиле евентуалне специфичности сушења парене резане грађе букве.

Истраживање је показало да су потребна унапређења у мерењу влажности пареног и непареног дрвета букве у сушарама, нарочито у подручју влажности 7–15%.

Боја парене резане грађе после сушења је била тамнија с израженијим тоном црвене боје у односу на непарену грађу, али са већом варијацијом боје.

Напомена: Рад је реализован у оквиру пројекта бр. ТР 31041 који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Део резултата је представљен на конференцији „Wood technology & product design” одржаној у Охриду (Македонија) од 30. 8. до 2. 9. 2015.

INFLUENCE OF STEAMING ON DRYING QUALITY AND COLOUR OF BEECH TIMBER

Milić Goran, assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Todorović Nebojša, assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Popadić Ranko, assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry

Abstract: This paper presents the results of an analysis of influence of the “light” steaming process on conventional drying and colour of beech timber. A stack consisting of steamed and unsteamed boards was dried. Moisture content and moisture content profiles were recorded, and at the end of drying final moisture content, moisture content difference across thickness, case-hardening and colour were determined. No statistically significant difference between steamed and unsteamed timber was established in any of the examined parameters (MC, Δ MC, gap). The results indicate that equal (or even) better drying quality can be expected with steamed beech timber than with unsteamed timber, given the same drying schedule. Dry steamed timber was darker and more reddish than the unsteamed one. An imprecision of measurement by probes in the kiln was noticed in measuring steamed and unsteamed beech timber having a moisture content of between 7% and 15%, and a solution for overcoming this problem was given.

Key words: beech timber, steaming, drying quality, colour

INTRODUCTION

The steaming of timber is a process that has been used in wood industry for decades. It is a process in which saturated water steam is applied on wood with one of the following goals (Pervan 2009): colour change, hygroscopicity decrease, moisture content equalizing across timber's thickness before kiln drying, wood softening for further timber processing or bending, sterilization, reduction of collapses. Results of these goals are highly affected by the duration of steaming, applied temperature (e.g. Tolvaj *et al.* 2010) and steam pressure. Colour change, as the most common goal, is usually attributed to hydrolysis of accessory compounds and arisen condensed polyphenolic products during steaming (Straže *et al.* 2008), but the result of steaming highly depends on the wood species (Varga and van der Zee 2008).

Timber steaming is mostly conducted on green wood, before kiln drying. Some researches (e.g. Alexiou *et al.* 1990, Harris *et al.* 1989, Majka and Olek 2007) showed that the drying rate of

steamed boards is higher than that of unsteamed boards (mostly in the early stages of kiln-drying, for moisture contents higher than 30%). On the other hand, there are conflicting opinions on how significant the influence of steaming is on hygroscopic properties of wood. Thus, Unsal and Ayrilmis (2004) stated that the equilibrium moisture content changes after timber steaming are measurable but not important from the practical point of view. On the other hand, Majka and Olek (2007) and Todaro *et al.* (2012) observed the significantly lower equilibrium moisture content values after steaming of beech and Turkish oak, respectively.

Beech timber intensively steamed to dark red colour had been popular for decades. In the last twenty years or so, there has been an increased demand for the so-called light-steamed beech timber. This demand is usually met by applying lower temperatures, and shorter duration of steaming. The goal of this paper is to establish the influence of such steaming on conventional drying of beech timber in the context of moisture content, and moisture content profiles during dry-

ing, as well as the final drying quality. Determination of exact colour of dry steamed beech timber was another goal of the research.

MATERIALS AND METHODS

The research was conducted on 50 mm thick steamed and unsteamed beech timber (*Fagus sylvatica* L.) that was 2.1 m long. Board width was 12–30 cm. All boards were without red heartwood. Steaming was conducted in an industrial steaming chamber with a capacity of 20 m³ by using the so-called light-steaming that is characterized by stacking timber on stickers, by lower temperatures, and by a shorter-than-usual duration of steaming. The entire steaming process lasted for 23 h, and the applied steaming temperature was 80 °C (Table 1).

The conventional drying was done in a laboratory kiln with the capacity of around 0.8 m³ of timber. The equipment of the kiln consists of two reversible fans, cold water humidifying system, electrical heating elements and computer control regulation with eight probes for measuring timber moisture content (MC) and two sensors for temperature and equilibrium moisture content (EMC) measurements. The heating phase was conducted with a temperature increase of 3°C/h. A drying schedule commonly used in Serbia (Milić *et al.* 2013) was chosen (Table 2). After drying, the conditioning phase was conducted (18 hours, 58°C, EMC=11%). Timber was dried to target 10% moisture content, measured by the probes in the kiln.

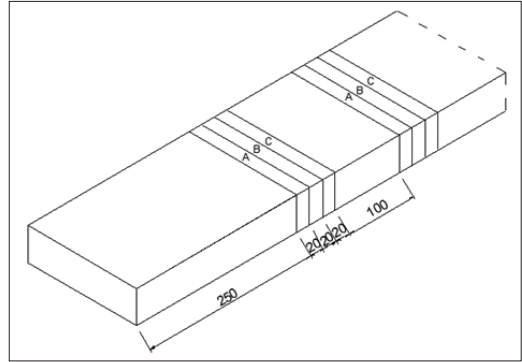


Figure 1. Samples extraction plan during drying

A stack of 17 steamed and 17 unsteamed boards was dried, and these boards were placed in alternating layers. Masses of all boards were measured, and for 14 chosen boards (7 steamed and 7 unsteamed) the dimensions were also measured. Probes for measuring moisture content were inserted in 4 steamed and 4 unsteamed boards. The stack was 60 cm wide, 2.1 m long and 10 layers of boards high. On the top of the uppermost layer, concrete blocks were placed (to decrease deformations), as well as two boards (a steamed one and an unsteamed one) that were used to extract samples during drying (Fig. 1).

Samples A and C were used to determine the MC by the oven-dry method, and samples B were used to determine the MC profiles across thickness (10 lamellae were cut) during drying. Samples extraction was conducted 10 times, in these intervals: at 0, 48, 96, 144, 192, 264, 336, 432, 504 hours, and at the end of drying. At the

Table 1. Steaming schedule (beech timber, 50 mm)

Phase	Time (h)	Temperature (°C)
Heating	12	till 80°C
Steaming	8	80°C
Cooling	3	-

Table 2. Conventional drying schedule (beech timber, 50 mm)

Moisture cont. (%)	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Temperature (°C)	37	38	38	38	38	40	43	47	52	58	62	62
EMC (%)	15.5	15.5	15	14.5	14	13.5	12.5	9.5	7	5.5	4.5	4

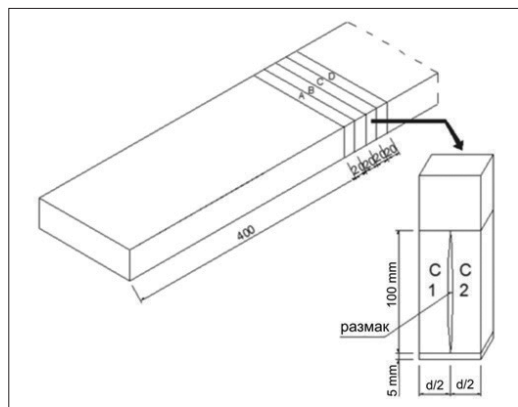


Figure 2. Test samples for determination of final MC (A and D), MC distribution across thickness (B) and gap measurements (C)

end of drying, masses of all boards were measured again, and dimensions were also measured on control boards. Samples were then extracted from all 14 control boards (Fig. 2) in order to determine the final MC (samples A and D), the MC profiles (samples B) and case-hardening (samples C). Gap measurements were taken 48 hours later. Moisture content difference across thickness (Δ MC) was calculated as the difference between moisture contents of the central and the surface lamellae. Each lamella was 5 mm thick.

Average MC, average Δ MC and average gap were calculated, as well as the standard deviation for each of these parameters. The results obtained for steamed and unsteamed timber were compared. The t-test was used for establishing statistically significant differences.

After drying, the steamed and unsteamed boards were sanded and the colour coordinates in the CIEL*a*b* system (L^* – lightness, a^* - red hue, b^* - yellow hue) were determined using a Erichsen *EasyCo* device (D65 light source, 10° angle). The colour difference (ΔE) between steamed and unsteamed beech was calculated and classified in a standard manner (e.g. Allegretti *et al.* 2008).

RESULTS AND DISCUSSION

The drying cycle (heating and conditioning included) lasted for 523 hours (Fig. 3). Average

initial MC, measured by probes in the kiln, was around 50%, of which the average value of four probes in steamed timber was 58%, while the average value of four probes in unsteamed timber was 42%. This difference was clearly present in the first eight days of drying. At moisture content below 25-27% drying curves were similar to the end. Faster drying of steamed boards in the first days of drying was mostly caused by the higher initial moisture content. This is also in agreement with the results of previous research (Harris *et al.* 1989, Majka and Olek 2007).

Drying curves of boards at the top of the stack obtained according to oven-dry determined MC followed a similar trend (Fig. 4), with curves converging even later (below 20% MC). This was a consequence of lower initial MC of an unsteamed board, compared to measurements by probes in the kiln.

Considering the different initial MCs, a different MC distribution across thickness was expected with both types of boards in the first days of drying (Fig. 5). In the steamed board, the MC of surface lamellae (approximately 5 mm thick) was inside the hygroscopic area as soon as 50 hours after the start of drying (including heating). The MC of other lamellae did not fall under 30% in the first 200 hours of drying. The unsteamed board had a lower initial MC, so the board had an MC below 30% across its entire thickness as soon as 96 hours into drying. Even after 336 hours (14 days) of drying, the MC profile is clearly sharper in the steamed than in the unsteamed board. At the end of drying, and also after the conditioning phase, the MC profiles were similar.

Average final MC determined by the oven-dry method in 14 tested boards was 7.1% (SD 0.9%). Average initial MC determined by final MC and board masses before and after drying was 43.9% (SD 6.5%). Average initial and final MC for both steamed and unsteamed boards are shown in Table 3. There was no statistically significant difference found between steamed and unsteamed boards, in neither initial nor final MC values. However, on the basis of difference between the initial and final MC, it is clear that the average rate of drying was somewhat greater in steamed (0.076%/h) than in unsteamed timber (0.065%/h).

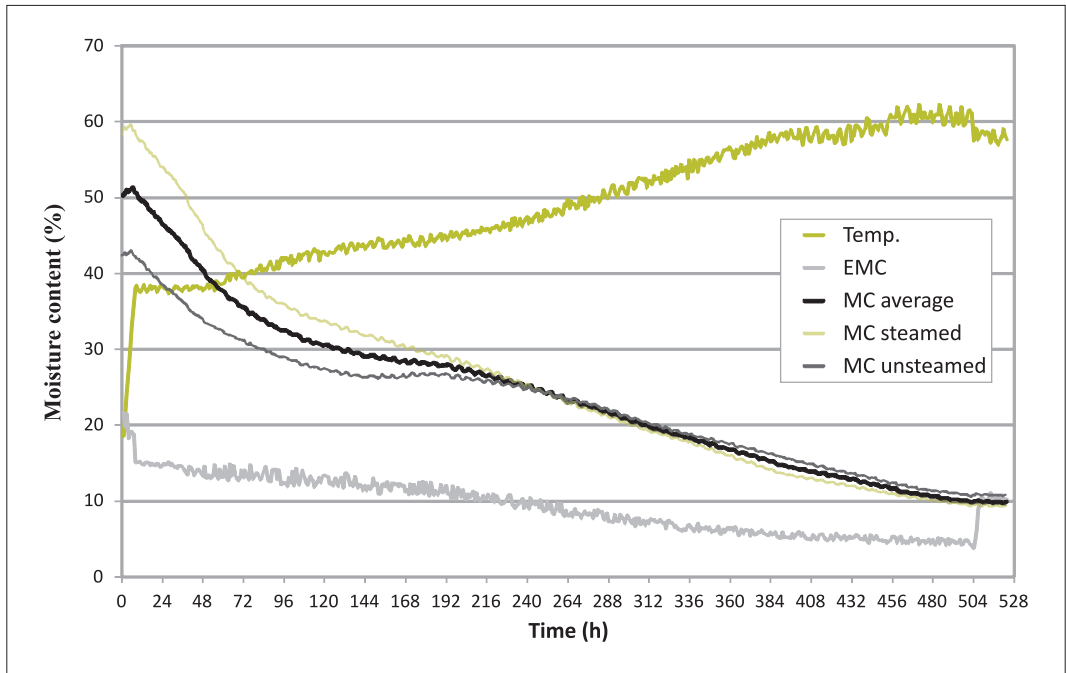


Figure 3. Drying curves (steamed, unsteamed and average), temperature and EMC in test run

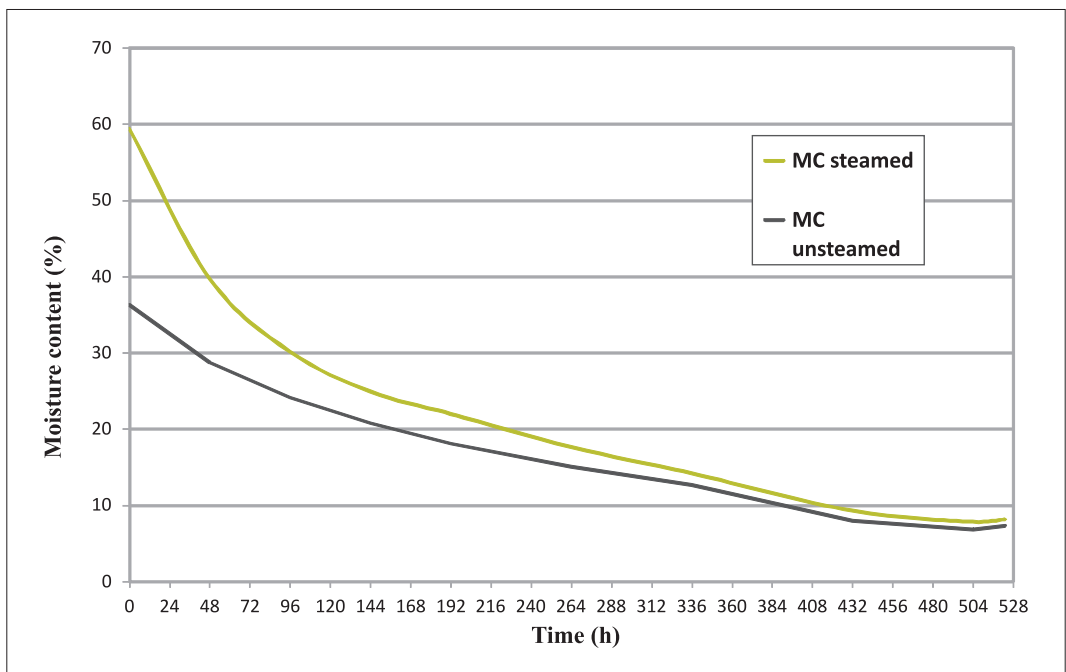


Figure 4. Drying curves for steamed and unsteamed board (determined by oven-dry method)

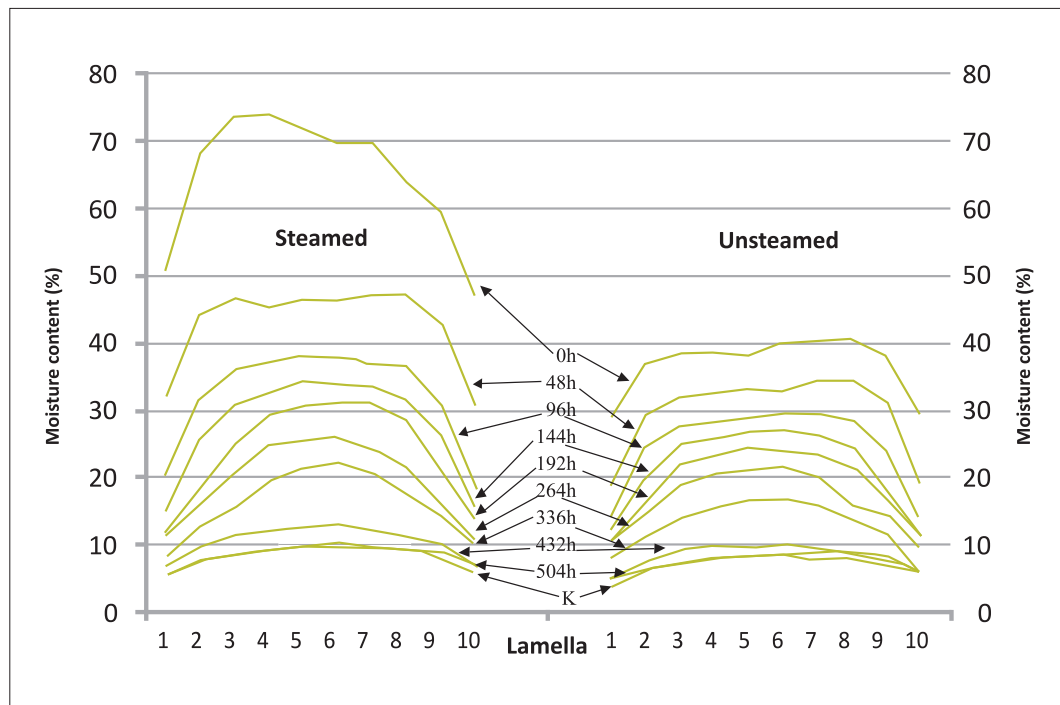


Figure 5. Moisture content distribution across thickness during drying (left - steamed board; right – unsteamed board)

In unsteamed boards, the initial MC measured by probes in the kiln was higher than MC determined by the oven-dry method by 2 – 6%. In steamed boards, this difference was greater and was between 4% and 24%. At final values, the probes again measured values greater than real (by 0.4 – 6%). It is important to emphasize that the entire drying cycle was conducted according to the timber type 3 (recommended for beech by the kiln manufacturer). The analysis shows that used electrical resistance–MC curve should be corrected in the area between 7% and 15%, in such a way that it is closer to the curve

for timber type 2 (steamed beech), at least with measurements taken at high temperatures that are characteristic for this area of MC. This would prevent beech timber from overdrying.

Average ΔMC for 14 examined boards was 2.8% (SD 1.5%). There was no statistically significant difference between steamed and unsteamed boards in this view, too. However, if taken into account that the initial MC of steamed boards was somewhat higher, a greater difference was expected in MC across thickness of steamed boards. The results did not confirm this. This indicates that, with the same initial MCs and by

Table 3. Initial and final moisture content, moisture content difference across thickness and gap for steamed and unsteamed boards

	Steamed boards	Unsteamed boards
MC _{initial} (%)	46.4 (8.2)	41.5 (3.5)
MC _{final} (%)	6.8 (0.7)	7.5 (1.0)
ΔMC (%)	2.4 (0.8)	3.2 (1.9)
Gap (mm)	1.5 (0.4)	1.8 (0.5)

SD in parenthesis

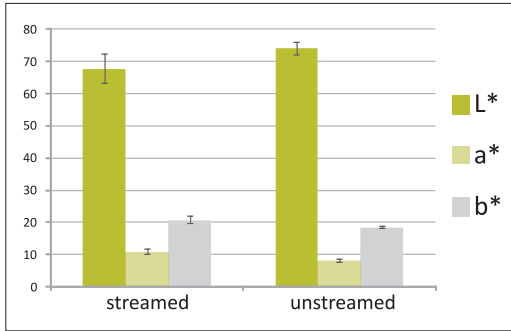


Figure 6. Colour co-ordinates (with SD) of steamed and unsteamed beech timber

using the same drying schedule, a more even MC profile could be expected at the end of drying of steamed timber as compared to unsteamed timber. Average gap, as a measure of case-hardening, was 1.6 mm (SD 0.4 mm) in the 14 examined boards. The difference in the sizes of gap in steamed and unsteamed timber was not statistically significant. Still, as with the ΔMC , a higher drying quality could be expected with steamed boards in a situation with the same initial MC and the same drying conditions.

The light steaming had a significant effect on colour change of beech timber. Average L^* value was lower for steamed wood as compared to unsteamed (Fig. 6), whereas a^* and b^* values were higher. As expected, standard deviation of all coordinates for steamed timber was higher than for unsteamed timber. The total colour difference between steamed and unsteamed samples was high ($\Delta E=7.3$).

CONCLUSIONS

It was found that, above MC of 30%, drying of light-steamed boards was faster than that of unsteamed boards. This was mostly caused by the higher initial moisture contents of the steamed boards. Drying curves below MC of 25% were similar for both types of boards.

MC distribution across thickness during drying indicates that the central layers of steamed boards, having had a higher initial MC, entered the hygroscopic area much later than those of unsteamed boards. Still, this did not produce greater ΔMC nor a greater case-hardening at the end of drying of steamed timber. No statistically significant difference between steamed and unsteamed timber was found in any of the examined parameters (MC, ΔMC , gap). The average values of ΔMC and gap were indeed lower (with a smaller standard deviation) in steamed boards. The research showed that a common drying schedule for unsteamed beech can be used for steamed timber as well, but further work is needed to determine the specificities of drying of steamed beech timber.

It was also found that improvements are needed in measuring moisture content of steamed and unsteamed beech timber in kilns, especially with a moisture content ranging between 7% and 15%.

The colour of steamed timber after drying was darker and more redish than the colour of unsteamed timber, but with higher colour variation.

Note: This research was realized within project TR 31041 financed by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia. It was partially presented at the Conference "Wood technology & product design" held in Ohrid (Macedonia) from 30.08. to 02.09.2015.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alexiou P.N., Wilkins A.P., Hartley J. (1990): *Effect of pre-steaming on drying rate, wood anatomy and shrinkage of regrowth Eucalyptus pilularis Sm.* Wood Science and Technology 24:103-110.
- Allegretti O., Travan L., Cividini R. (2008): *Drying techniques to obtain white beech.* Pro Ligno 1:11-19.
- Harris R.A., Schroeder J.G., Addis S.C. (1989): *Steaming of Red Oak Prior to Kiln-Drying: Effects on Moisture Movement.* Forest Product Journal 39 (11-12):70-72.
- Majka J., Olek W. (2007): *Effect of European Beech (Fagus sylvatica L.) Wood Steaming on Sorption Properties and Kiln-Drying Intensity.* Folia Forestalia Polonica, Series B, 38:55-65.
- Milić G., Kolin B., Lovrić A., Todorović N., Popadić R. (2013): *Drying of beech (Fagus sylvatica L.) timber in oscillation climates: drying time and quality.* Holzforschung 67(7):805-813
- Pervan S. (2009): *Technology for Treatment of Wood with Water Steam.* University of Zagreb, Faculty of Forestry, Croatia (in Croatian).
- Straže A., Gorišek Ž., Pervan S., Prekrat S., Antonović A. (2008): *Research on Colour Variation of Steamed Cherrywood (Prunus avium L.).* Wood Research 53(2):77-90.
- Todaro L., Zuccaro L., Marra M., Basso B., Scopa A. (2012): *Steaming effects on selected wood properties of Turkey oak by spectral analysis.* Wood Science and Technology 46:89-100.
- Tolvaj L., Molnar S., Nemeth R., Varga D. (2010): *Color modification of black locust depending on the steaming parameters.* Wood Research 55(2):81-88.
- Unsal O., Ayrilmis N. (2004): *The Effect of Steaming on Equilibrium Moisture Content in Beech Wood (Fagus orientalis Lipsky).* Forest Product Journal 54(6): 90-93.
- Varga D., van der Zee M.E. (2008): *Influence of Steaming on Selected Wood Properties of Four Hardwood Species.* Holz Roh Werkst 66:11-18.