

UDK: 674.047

Оригинални научни рад

<https://doi.org/10.2298/GSF2021097M>

## МОГУЋНОСТ СУШЕЊА ЕЛЕМЕНАТА ХРАСТА И ЈАСЕНА СА КОРОМ

др Горан Милић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, (goran.milic@sfb.bg.ac.rs)  
маст. инж. Марко Веизовић, асистент, Универзитет у Београду, Шумарски факултет  
др Небојша Тодоровић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет

**Извод:** Предмет овог рада је анализа могућности сушења резаних елемената храста и јасена са присутном кором дрвета на једној страни елемента. Осушена је једна шаржа храстових и једна јасенових елемената при чему је процес вођен даљинским електро-влажомерима у сушари, али је влажност одређивана и гравиметријским методом. Анализирани су и грешке сушења и њихови узроци. Резултати су показали да се конвенционално сушење може користити за ову намену – трајање је релативно кратко (до 7 дана), а варијација коначне влажности релативно мала. Основни проблем је релативно велики број закривљених елемената на крају сушења, искључиво оних где је учешће дрвета у односу на кору мало. Врло високи коефицијенти аксијалног утезања коре (4,5 пута већи од дрвета) су узрок ових деформација.

**Кључне речи:** елементи са кором, сушење, храст, јасен, утезање

## УВОД

Биоекономија је реч чији значај стално расте, а њен битан део је боље коришћење обновљивих материјала, нарочито дрвета. Последњих година се доста пажње у истраживањима посвећује бољем коришћењу дрвних остатака који настају у процесу производње. Значајан део овог фокуса је на кори, која у пракси – осим као гориво – још увек нема значајнију примену. Боље коришћење коре може значајно поправити профитабилност предузећа дрвне индустрије, нарочито због чињенице да је добијају бесплатно – при продаји трупаца кора се не обрачунава у запремину трупаца.

У зависности од врсте дрвета запреминско учешће коре у трупцу износи од 5% до 28% (Naunes *et al.*, 1999; Guidi *et al.*, 2008). Неке

врсте лишћара (нпр. храст, топола, багрем) имају врло велики удео коре. Поповић и Тодоровић (2006) су показали да се удео коре код храста китњака повећава са учешћем белјике и већом висином стабла и да њено учешће просечно износи од 17,6% до 23,5%. Ово је у сагласности са другим истраживањима по којима учешће коре код храста лужњака (нарочито код млађих стабала) може бити и преко 23% (Diaz-Maroto *et al.*, 2017). Ово значи да ако предузеће годишње преради 10000 м<sup>3</sup> трупаца храста или јасена, то значи да минимално 1000 - 2000 м<sup>3</sup> коре заврши као гориво. Прерађивачи дрвета су углавном фокусирани на повећање додате вредности главних производа, и на тај начин занемарују економски бенефит који би



**Слика 1.** Пример зидне облоге од коре дрвета (archiproducts.com)

могли остварити коришћењем коре. Зависно од врсте дрвета, кора садржи различита органска једињења: целулоза, лигнин, танин, суберин, бетулин и др. (Fent *et al.*, 2013; Deineko, Fustova, 2015) и полако проналази своје место у хемијској, фармацеутској, грађевинској и другим индустријама. Како би се кора дрвета користила у наведеним гранама потребне су велике инвестиције, али постоје и други начини да се овај материјал искористи за иновативне производе који би створили значајно већу додатну вредност у односу на употребу коре као извор енергије. Један од таквих производа могу бити и зидне облоге од коре дрвета (слика 1).

Са појавом оваквих производа и на домаћем тржишту настала је потреба да се испита технологија производње, као и својства крајњег производа. Најважнији део процеса производње оваквих дрвних облога је сушење. Ради се о сортиментима нестандартних и међусобно различитих димензија, при том са различитим учешћем коре и дрвета, што компликује процес сушења. Циљ овог рада је испитивање могућности конвенционалног сушења дрвета са ко-

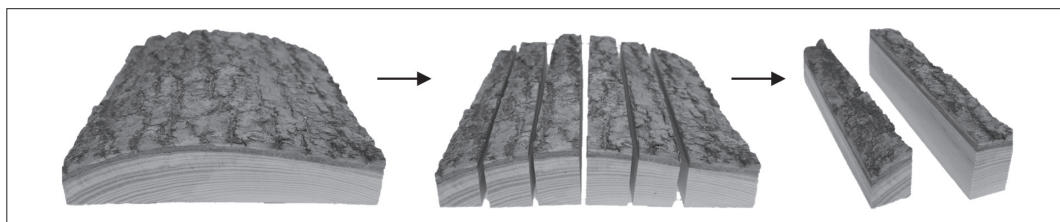
ром, као и анализа типичних грешака које се у том процесу јављају.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

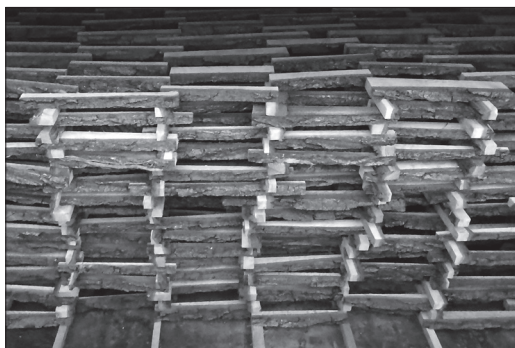
Испитиване су две најзначајније врсте дрвета за ову намену: храст и јасен. Елементи који су сушени имали су димензије: дужина 25 - 40 cm; ширина 2,5 - 5 cm, а дебелина је била уједначена на 2,5 cm. Овај опсег димензија последица је начина добијања елемената. Након првог реза на трупцу, на примарној машини, настаје остатак који се назива окорак. Овај сортимент има неправилан облик и његовом даљом обрадом (краћењем и парањем) настају елементи који су коришћени у овом истраживању (слика 2). Због неуједначених димензија сортимената удео коре и дрвета је био различит.

Због специфичних димензија елемената слагање је вршено унакрсно, без летвица (слика 3). Елементи су конвенционално сушени у лабораторијској сушари запремине 0,8 m<sup>3</sup>. Опрема сушаре је идентична опреми која се користи у индустријским сушарама: реверзибилни вентилатори, систем за навлаживање ваздуха, измењивачи топлоте, аутоматика за вођење процеса, осам сонди за мерење влажности дрвета и два мерна места за температуру и равнотежну влажност. Током формирања слоја у 6 изабраних елемената су постављене сонде за праћење влажности дрвета.

Током процеса сушења, влажност је праћена и гравиметријски, на 8 узорака. Маса контролних елемената је измерена на почетку процеса сушења и свакодневно је мерена до завршетка процеса. Ради лакшег мерења, контролни елементи су постављени на приступачна места унутар коморе. На крају процеса



**Слика 2.** Процес израде елемената за сушење из окорака (с лева на десно)



Слика 3. Начин слагања елемената за сушење

сушења исти елементи су осушени до апсолутно сувог стања и поново им је измерена маса. На основу тих података израчуната је почетна влажност контролних елемената, као и одговарајуће влажности за сваки дан сушења.

На појединим узорцима дрвета храста примећена је подужна закривљеност и пре вештачког сушења. С обзиром да су елементи храста већ били у просушеном стању влажности могло се претпоставити да је узрок кривљења неједнако утезање коре и дрвета. Због тога је извршено мерење аксијалног утезања коре и дрвета храста. У ту сврху коришћене су епрувете дужине 10 см. Прво је ручним алатом одвојена кора од дрвета на одабраним узорцима, а затим су мерене маса и дужина дрвета и коре, у влажном и у апсолутно сувом стању. На основу тих мерења израчунато је утезање, а потом и коефицијенти утезања коре и дрвета храста.

Процес сушења вођен је аутоматски, према претходно креираним режимима (табела 1). Осушене су две шарже (једна храста и једна јасена) до коначне влажности од 8% и то по режимима са идентичним температурама. Равнотежна влажност у режиму за храст је била нижа и то од 30% влажности дрвета до краја сушења. Разлог је што су елементи храста већ били просушени, али и искуства из пробних сушења која су показала да нема великог ризика од појаве пукотина. Оба режима су из тог разлога имала релативно ниске равнотежне влажности. Додатно, ово је омогућило ређе активирање система за навлаживање који би, због мале запремине сушаре и мале количине дрвета у њој, у супротном радио доста често што би повећало потрошњу енергије (Elustondo, Oliveira 2009). С обзиром на малу запуњеност коморе, утрошак енергије по  $m^3$  кубном дрвета је још значајнији него иначе код лишћара (Milić, 2019).

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### Почетна влажност дрвета и коре

Узорци дрвета јасена имали су почетну влажност око 40%, док је дрво храста било већ у просушеном стању влажности (табела 2). У испитиваном опсегу (просушено стање), влажност коре храста је била за око трећину нижа у односу на влажност дрвета. Ово је очекивано и због

Табела 1. Режији сушења елемената храста и јасена са кором

Влажност дрвета	%	40,0	35,0	30,0	27,0	24,0	20,0	16,0	12,0	9,0	6,0	кон.	
Температура	°C	35,0	36,0	37,0	39,0	41,0	45,0	48,0	54,0	58,0	58,0	54,0	
Храст	Равнотежна влажност	%	16,5	15,5	13,4	11,0	8,5	5,5	3,5	2,7	2,5	2,0	11,0
	Релативна влажност	%	82,6	80,3	73,7	64,3	50,9	31,4	18,2	13,6	12,8	9,0	69,0
Јасен	Равнотежна влажност	%	16,5	15,5	14,4	12,0	10,0	7,0	5,0	4,2	3,5	3,5	11,0
	Релативна влажност	%	82,6	80,3	77,0	69,2	59,7	41,7	28,8	24,6	20,3	20,3	69,0

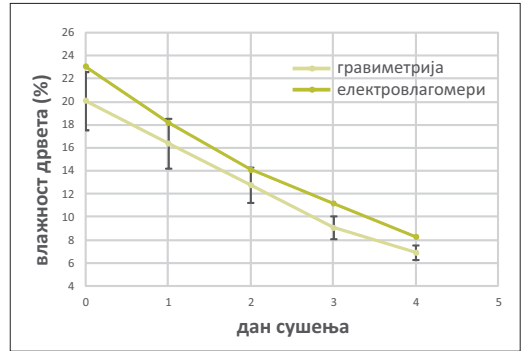
ниже влажности коре у свеже посеченом дрвету и због бржег сушења коре (Dibdiakova *et al.*, 2014). Влажност самог дрвета храста је показала неубичајено велику варијацију што се може објаснити тиме да брзина природног сушења дела дрвета непосредно до камбијума и коре доста зависи од положаја у самом слојају на пилани. С обзиром да овај материјал најчешће у пилани стоји набацан на гомилу, тј. да се не слаже правилно, то ће се елементи који су унутрашњости значајно спорије сушити.

**Tabela 2.** Влажност елемената пре сушења

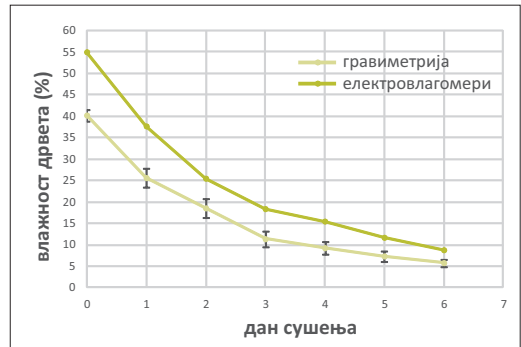
почетна влажност (%)	јасен	храст (дрво)	храст (кора)
средња вредност	40,2	23,9	16,5
стандардна девијација	1,3	5,2	1,0
коэффициент варијације	3,3	21,7	6,0

### Влажност дрвета током сушења

Очекивано, због ниже почетне влажности процес сушења елемената храста је трајао краће (4 дана) у односу на јасен (6 дана). У оба случаја су влажности елемената одређивани гравиметријски (мерењем масе) биле ниже од мерења у сушари даљинским електровлагомерима (слика 4 и 5). Два су узрока ове појаве: елементи којима је мерена маса су били изложенији оштријој клими, јер су се налазили на уласку ваздуха у слојај, па је и очекивано да им влажност буде нешто, али не оволико нижа (Milić *et al.* 2008). Други могући узрок је непрецизно мерење даљинских електровлагомера. Оно може бити последица малих димензија сортимената, али и могуће различите зависности влажности од мереног отпора код малог дела дрвета непосредно уз кору. Реална је претпоставка да се овај слој дрвета (бељика) у овом смислу понаша другачије од уобичајеног дрвета храста/јасена. Бројне су разлике између бељике и срчике једричавих врста дрвета, пре свега хемијске, али и физичке (нпр. Miles, Smith, 2009; Pásztor *et al.*, 2014). Врло битно је и да је граница хигроскопности бељике знатно виша у односу на срчичку. Због тога су криве



**Слика 4.** Крива сушења елемената храста са кором



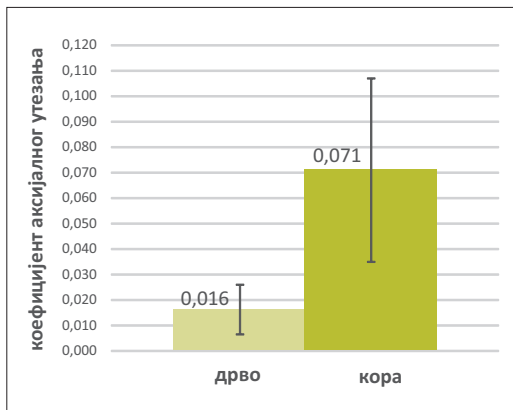
**Слика 5.** Крива сушења елемената јасена са кором

зависности електричног отпора од влажности дрвета направљене за срчичку, јер се она много чешће користи.

Влажност дрвета, одређена гравиметријски, на крају сушења је била 6,9% (SD=0,6) за храст и 5,8% (SD=0,9) за јасен, што је ниже од жељене коначне влажности. Ово пресушивање је такође последица непрецизних мерења електровлагомера. С обзиром да пресушивање дрвета значајно повећава све деформације дрвета (Denig *et al.*, 2000; Stanish, 2008; Berberović, Milota, 2011), то би раније завршавање сушења (нпр. за 1 дан краћи процес) поправило и ситуацију са аспекта закривљености сортимената.

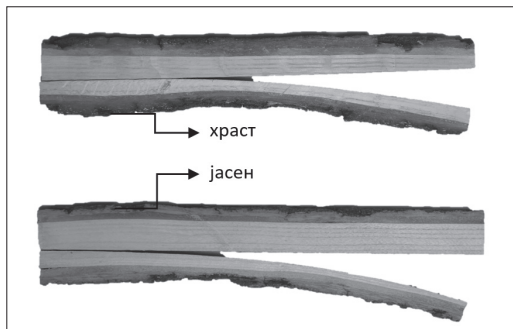
### Утезање коре и дрвета

Свакако најзначајнији узрок кривљења осушених елемената дрвета јасена и храста јесте



Слика 6. Коэффициенти аксијалног утезања дрвета из дела бељике и коре код храста

присуство коре. Обзиром да се елементи криве на страну ближе кори, могло се претпоставити да се кора више аксијално утеже. Ово потврђују и коефицијенти утезања (слика 6), где се може видети да се кора храста аксијално утеже око 4,5 пута више него дрво. Овај резултат се слаже са подацима које су приказали Meyer *et al.* (1980). Аутори су навели да је аксијално утезање коре врсте *Tsuga heterophylla* веће у односу на дрво и констатују да је утезање коре код лишћара веће у односу на кору четинара. Због разлика у својствима и дебелини коре из појединих делова трупца, и варијација аксијалног утезања коре је знатно већа у односу на дрво. Утврђено је да је утицај коре на кривљење елемената присутан само у случају када је учешће дрвета у елементу мало. Код елемената



Слика 7. Закривљеност осушених елемената храста и јасена са мањим и већим учешћем дрвета у односу на кору

са већим учешћем дрвета није дошло до појаве закривљености (слика 7). Битно је нагласити да у конкретном случају и ови закривљени сортименти не представљају шкарт, јер се скрађују и тако користе за прављење крајњег производа.

## ЗАКЉУЧЦИ

У раду је истраживана могућност конвенционалног сушења хрстових и јасенових елемената са значајним учешћем коре. Показано је да се на овај начин могу добијати суви елементи који ће се користити за израду зидних облога. Иако су у питању тврди лишћари, време сушења је било релативно кратко – 4 и 6 дана, па се могу очекивати времена испод 10 дана чак и када се суше потпуно сирови елементи. При сушењу делимично просушених елемената, што је чешћа ситуација у пракси, може се очекивати велика варијација почетне влажности. У овом истраживању то није утицало на повећану варијацију коначне влажности.

Мерења даљинских електровлажгомера у сушари су све време процеса била виша од стварне влажности елемената што је резултирало прениском коначном влажношћу. Због тога се може препоручити да сушење у пракси траје један дан краће, односно да се процес завршава када је просек сонди између 9% и 10%.

Елементи храста са малим учешћем дрвета су имали много већи степен закривљености на крају сушења што је последица знатно већег аксијалног утезања коре (чак 4,5 пута веће у односу на дрво). Ипак, и ови закривљени елементи у конкретном случају не представљају шкарт, већ се скрађују и такви користе за финални производ. Због добијених вредности утезања и значаја који кора има за овај производ, истраживање ће се наставити како би се одредила друга својства коре која утичу на коришћење у производима (густина, утезање у сва три анатомска правца, карактеристике сорпције и равнотежна влажност).

С обзиром да се дрвене облоге са кором могу добијати не само из окова, већ практично из свих крупних остатака на пилани, чија количина је код лишћара и већа од 15% запремине трупца (Porađić *et al.*, 2014), јасно је да



сировине за израду ових производа са високом додатом вредношћу има више него довољно.

**Напомена:** Рад је реализован у оквиру пројекта бр. ТР 31041 и бр. ТР 37008 које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## POSSIBILITY OF DRYING OAK AND ASH ELEMENTS WITH BARK

Goran Milić, associate professor, University of Belgrade - Faculty of forestry, (goran.milic@sfb.bg.ac.rs)

Marko Veizović, teaching assistant, University of Belgrade - Faculty of forestry

Nebojša Todorović, associate professor, University of Belgrade - Faculty of forestry

**Abstract:** The subject of this paper is the analysis of the possibility of drying oak and ash elements with the presence of tree bark on one side of the element (bark edge). One batch was dried per species, and the process was controlled by moisture content (MC) probes in the kiln, but also determined by the oven-dry method. Drying defects and their causes were also analyzed. The results showed that conventional drying can be used for this purpose - the duration is relatively short (up to 7 days), and the variation of the final MC is relatively small. The main problem is a relatively large number of crooked elements at the end of drying, particularly those where the share of wood in relation to the bark was small. Very high axial shrinkage coefficients of the bark (4.5 times higher than wood) are the cause of these deformations.

**Key words:** elements with bark, drying, oak, ash, shrinkage

## INTRODUCTION

The importance of bioeconomy is constantly growing, and with it also the importance of a better use of renewable materials, especially wood. In recent years, a lot of researches focused on potential better use of wood residues generated in the production process. A significant part of this focus is on the bark, which in practice still has no significant application, except as a fuel. A better use of bark can significantly improve the profitability of wood industry companies, especially due to the fact that they get it for free - when selling logs, the bark is not calculated in the volume of the log.

Depending on the species, the volume share of bark in the trunk is from 5% to 28% (Naunes *et al.*, 1999; Guidi *et al.*, 2008). Some deciduous species (e.g. oak, poplar, black locust) have a very

large share of bark. Popović and Todorović (2006) showed that the share of bark in sessile oak increases with the increase of sapwood and tree height, and that its share ranges from 17.6% to 23.5%. This is in agreement with another research (Diaz-Maroto *et al.*, 2017) according to which the share of bark in common oak (especially in younger trees) can be over 23%. This means that if a company processes 10,000 m<sup>3</sup> of oak or ash logs per year, a minimum of 1000 - 2000 m<sup>3</sup> of bark ends up as fuel. Wood processing companies are mainly focused on increasing the added value of the main products, and thus neglect the economic benefits that could be achieved by using bark. Depending on the wood species, bark contains different organic compounds: cellulose,



**Figure 1.** Example of a wall covering made of bark (archiproducts.com)

lignin, tannin, suberin, betulin etc. (Fent *et al.*, 2013; Deineko, Fustova, 2015) and is gradually finding its place in the chemical, pharmaceutical, construction and other industries. In order to use tree bark in these branches, large investments are needed, but there are other ways to use this material for innovative products that would create significantly higher added value compared to the use of bark as an energy source. One of such products can be wall coverings made of bark (Figure 1).

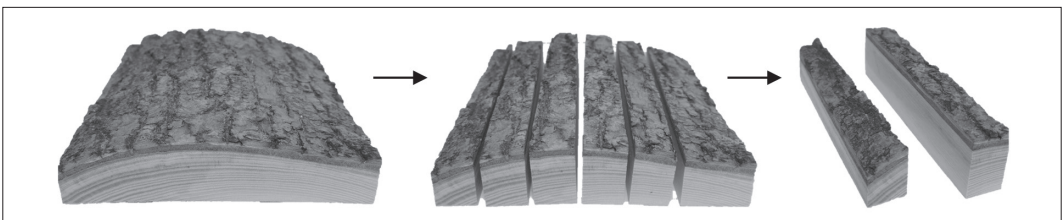
With the appearance of such products on the domestic market, the need to examine the production technology and the properties of the final product has arisen. The most important part of the production process of such product is drying. The elements used in production are of non-standard and different dimensions, with a different share of bark and wood, which complicates the drying process. The aim of this paper is to examine the possibility of conventional drying of bark edge wood, as well as the analysis of typical defects that may occur in this process.

## MATERIAL AND METHODS

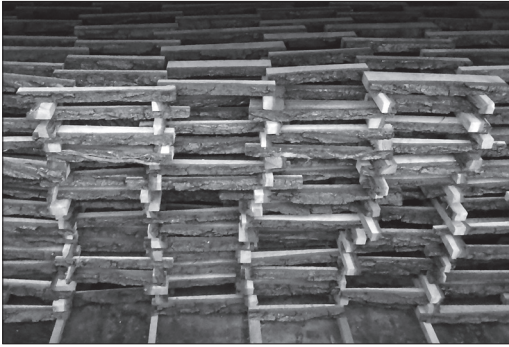
The two important species used for this purpose were examined: oak and ash. The elements for drying had the following dimensions: a 25 - 40 cm length, a 2.5 - 5 cm width, and the thickness was uniform - 2.5 cm. This range of dimensions is a consequence of the way the elements were obtained. After the first cut on the log, on the primary sawing machine, an irregular shape residue is formed. Its further processing results in the elements used in this research (Figure 2). Irregular dimensions of the elements cause different bark and wood shares.

Due to the specific dimensions of the elements, the stacking was done crosswise, without stickers (Figure 3). The elements were conventionally dried in a laboratory kiln with a volume of 0.8 m<sup>3</sup>. The equipment of the kiln is identical to the equipment used in industrial kilns: two reversible fans, cold water humidification system, electrical heating elements and computer control regulation with eight probes for measuring wood moisture content (MC), and two sensors for measuring temperature and equilibrium moisture content (EMC). Six probes for the monitoring of wood MC were placed in the selected elements and evenly distributed in the kiln volume.

During the drying process MC was also monitored by the oven-dry method on 8 samples. The mass of the control elements was measured at the beginning of the process and daily until the end of the drying. For practical purpose, the control elements were placed in accessible spots inside the chamber. At the end of the drying process, the same elements were oven dried and their mass was measured again. Based on these data, the initial MC of the control elements was calculated,



**Figure 2.** The formation process of the elements for drying (left to right)



**Figure 3.** Crosswise stacking of elements

as well as the corresponding MC for each day of drying.

Crook deformation was observed on some samples of oak wood even before kiln drying. Since the MC of the oak elements was below the fiber saturation point (FSP), it could be assumed that the cause of the curvature was unequal shrinkage of the bark and wood. Therefore, the measurement of axial shrinkage of oak bark and wood was performed. Samples of 10 cm length were used for this purpose. First, the bark was separated from the wood with hand tools on the selected samples, and then the mass and length of the wood and bark were measured at initial MC and in the oven-dry state. Based on these measurements, the longitudinal shrinkage and the shrinkage coefficients of oak bark and wood were calculated.

The drying process was conducted according to previously created schedules (Table 1). Two batches (one oak and one ash) were dried to a final MC of 8% according to schedules with identical

temperatures. In the oak schedule the EMC was lower compared to the ash schedule from 30% MC until the end of process. The reason is the lower initial MC of oak elements, but also the experiences from trial drying, which showed that there is no high risk of cracks. Both schedules therefore had a relatively low EMC. Additionally, this resulted in a less frequent activation of the humidification system which, due to the small volume of the dryer and the small amount of wood in it, would otherwise work intensively, which would increase energy consumption (Elustondo, Oliveira 2009). Due to small wood volume in the chamber (a lot of air gaps), energy consumption per cubic meter of wood is even more significant than usually for hardwood drying (Milić, 2019).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Initial moisture content of wood and bark

Samples of ash wood had an initial MC of about 40%, while oak wood was already below the FSP (Table 2). In the examined range, the MC of the oak bark was by about one third lower than the MC of the wood. This is expected due to the lower MC of the bark in green wood and due to the faster drying of the bark (Dibdiakova *et al.*, 2014). The MC of oak wood itself showed an unusually large variation. This can be explained by the fact that the air drying rate of sapwood and bark depends a lot on the position in the stack in a sawmill. Considering that this material in sawmill is usually piled up, the elements inside the heap

**Table 1.** Conventional drying schedules for oak and ash elements with bark

Moisture content	%	40.0	35.0	30.0	27.0	24.0	20.0	16.0	12.0	9.0	6.0	con.	
Temperature	°C	35.0	36.0	37.0	39.0	41.0	45.0	48.0	54.0	58.0	58.0	54.0	
Oak	EMC	%	16.5	15.5	13.4	11.0	8.5	5.5	3.5	2.7	2.5	2.0	11.0
	Relative humidity	%	82.6	80.3	73.7	64.3	50.9	31.4	18.2	13.6	12.8	9.0	69.0
Ash	EMC	%	16.5	15.5	14.4	12.0	10.0	7.0	5.0	4.2	3.5	3.5	11.0
	Relative humidity	%	82.6	80.3	77.0	69.2	59.7	41.7	28.8	24.6	20.3	20.3	69.0



will dry significantly slower compared to the elements on the surface.

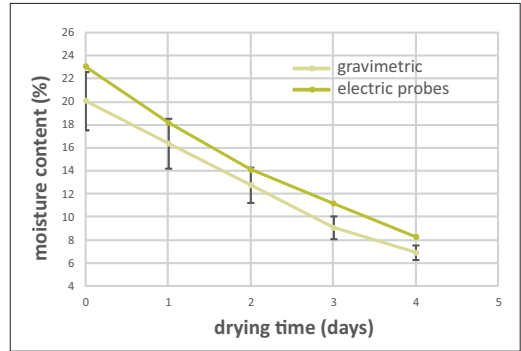
**Table 2.** Initial MC of the elements

Initial MC (%)	ash	oak (wood)	oak (bark)
average	40.2	23.9	16.5
SD	1.3	5.2	1.0
CoV	3.3	21.7	6.0

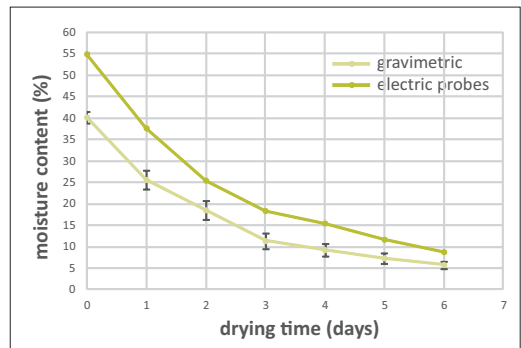
### Wood MC during drying

As expected, due to the lower initial MC, the drying process of oak elements was shorter (4 days) compared to the drying of ash (6 days). In both cases, MC of the elements determined by mass measurement was lower than the probes measurements in the kiln (Figures 4 and 5). There are two causes of this phenomenon: the control elements were exposed to a harsher climate, because they were at the entrance of air into the stack, so it was expected that their MC would be lower, but not so low (Milić *et al.* 2008). Another possible cause is inaccurate measurement of kiln probes. It can be a consequence of the small dimensions of the elements, but also possible different dependences of MC and the measured electrical resistance in a small part of the wood next to the bark. It is a realistic assumption that this layer of wood (sapwood) behaves differently in this sense than the heartwood of oak/ash. There are numerous differences between the sapwood and the heartwood, which are primarily chemical differences, but there are also physical ones (e.g. Miles, Smith, 2009; Pásztorý *et al.*, 2014). It is also very important that the FSP of sapwood is significantly higher compared to the FSP of heartwood. The kiln measuring probes are adjusted to the dependences of the electrical resistance on the MC of heartwood, because it is used much more often.

The final MC, determined by the oven-dry method, was 6.9% (SD = 0.6) for oak and 5.8% (SD = 0.9) for ash, which is lower than the targeted final moisture content. This overdrying is a consequence of inaccurate measurements of electric



**Figure 4.** Drying curve of oak wood elements with bark

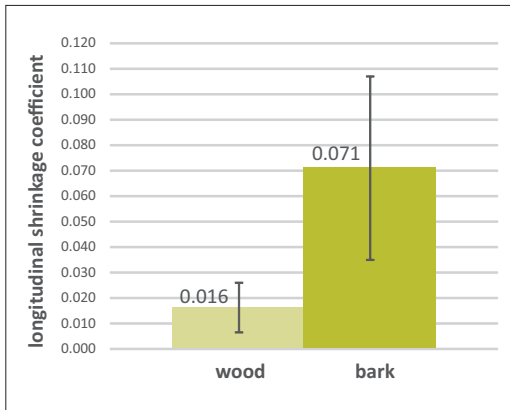


**Figure 5.** Drying curve of ash wood elements with bark

probes. Since overdrying of wood significantly increases all deformations of wood (Denig *et al.*, 2000; Stanish, 2008; Berberović, Milota, 2011), an earlier completion of drying (e.g. 1 day shorter process) would improve the situation.

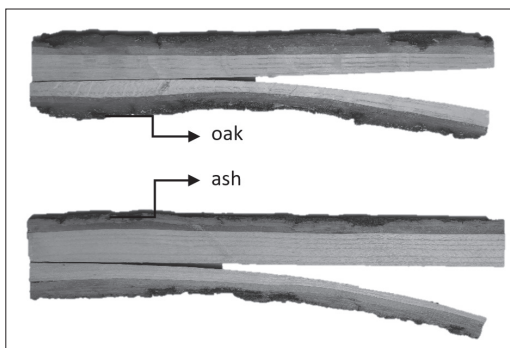
### Wood and bark longitudinal shrinkage

Certainly the most significant cause of crook of the dried oak and ash wood elements is the presence of bark. Since the elements are curved to the side closer to the bark, it was assumed that bark shrinks more than wood in the longitudinal direction. This is confirmed by the shrinking coefficients (Figure 6), and it can be seen that the bark of oak shrinks longitudinally about 4.5 times more than the wood. This result is in agreement with the data presented by Meyer *et al.* (1980). The authors



**Figure 6.** Longitudinal shrinkage coefficient of oak sapwood and bark

stated that the axial shrinkage of bark of the species *Tsuga heterophylla* is higher than the shrinkage of wood, but also that the shrinkage of bark in deciduous trees is higher than the shrinkage of bark in conifers. Due to the differences in the properties and thickness of bark from individual parts of the log, the variation of the axial shrinkage of bark is significantly higher compared to wood. It was noticed that the crook of the elements is present only when the share of wood in the element is small compared to bark. In elements with a higher share of wood no deformation occurred (Figure 7). It is important to emphasize that in this particular case, these curved assortments do not represent waste, because they are shortened and thus used to make the final product.



**Figure 7.** Crook of kiln dried oak and ash elements with lower and higher shares of wood compared to bark

## CONCLUSIONS

The study investigates the possibility of conventional drying of oak and ash elements with a significant share of bark. It has been shown that dry elements wall coverings production can be obtained this way. The drying time was relatively short for hardwoods (4 and 6 days), so process duration of less than 10 days can be expected even for completely green elements. When drying air dried elements, which is a more common situation in practice, a large variation of the initial MC can be expected. In this study, a large variation of initial MC did not influence a high variation of final MC.

Kiln probes measurements showed a higher MC of wood compared to the oven-dry method. This was the case throughout the process, which resulted in a too low final MC. Therefore, it can be recommended to shorten drying process by one day, or to end process when the average of the probes is between 9% and 10% MC.

Elements of oak with a small share of wood were much more crooked, which is a consequence of significantly higher axial shrinkage of bark (as much as 4.5 times higher than wood). However, these crooked elements in this particular case do not represent waste, and after shortening they were used for the final product. Due to the obtained values of shrinkage and the importance of bark for this product, research will continue to determine its other properties that affect the use of products (density, shrinkage in all three anatomical directions, sorption characteristics and equilibrium moisture content).

Considering that elements, for wall coverings with bark, can be obtained practically from all large sawmill residues and considering that the amount of these large residues in deciduous trees is more than 15% of the log volume (Popadić *et al.*, 2014), it is clear that there is more than enough raw material for these products with high added value.

**Note:** This research was realized within projects TR 31041 and TR 37008 financed by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Berberović, A., Milota, M. (2011): Impact of Wood Variability on the Drying Rate at Different Moisture Content Levels. *Forest Products Journal* 61(6):435-442
- Deineko, I. P., Faustova, N. M. (2015): Element and group chemical composition of aspen bark and wood. *Chemistry of Plant Raw Material* 1:51-62
- Denig, J., Wengert, G., Simpson, W. (2000): Drying Hardwood Lumber. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-118. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- Diaz-Maroto, I.J., Vila-Lameiro, P., Tahir, S. (2017): Assessment of anatomical characteristics of wood – bark, sapwood and heartwood – in hardwoods species of Galician oaks by image processing: Relationship with age. *Wood Research* 62(5):763-772
- Dibdiakova, J., Gjølshøj, S., and Wang, L. (2014): Solid Biofuels from Forest – Fuel Specification and Quality Assurance. Inherent Properties of Norway Spruce Biomass in Some Geographical Locations in South Norway. Norwegian Forest and Landscape Institute, Ås, Norway
- Elustondo, D. M., Oliveira, L., (2009): Model to assess energy consumption in industrial lumber kilns. *Maderas.Ciencia y tecnología* 11(1): 33-46
- Feng, S., Cheng, S., Yuan, Z., Leitch, M., Xu, C. (2013): Valorization of bark for chemicals and materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 560-578
- Guidi, W., Piccioni, E., Ginanni, M., and Bonari, E. (2008): Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in central Italy. *Biomass and Bioenergy* 32(6):518-524.
- Miles, P., Smith, B. (2009): Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America. US Forest service 11 Campus BLVD SUITE 200, Newtown
- Milić, G. (2019): Drying of hardwood timber – science and industry. 4<sup>th</sup> International Scientific Conference „Wood Technology & Product Design“, Ohrid, Republic of North Macedonia, 1-6.
- Milić, G., Vuković, G., Kolin, B. (2008): Tačnost merenja vlažnosti drveta u konvencionalnim sušarama. *Prerada drveta* (6) 21-22:21-25
- Meyer R.W., Kellogg, and W. G. Warren (1981): Relative density, equilibrium moisture content and dimensional stability of Western hemlock bark. *Wood and Fiber* 13(2):86-96
- Naunes, E., Qbuihó, T., and Pereira, H. (1999): Anatomy and chemical composition of *Pinus pinea* L. bark. *Annals of Forest Science* 56(6):479-484.
- Pásztor, Z, Börcsök, Z, Ronyecz, I, Mohácsi, K, Molnár, S (2014): Oven dry density of Sessile oak, Turkey oak and Hornbeam in different region of Mecsek mountain. *Wood Research* 59(2):683-694
- Popadić R., Šoškić B., Milić G., Todorović N., Furtula M. (2014): Influence of the Sawing Method on Yield of Beech Logs with Red Heartwood. *Drvna industrija* 65(1):35-42
- Popović, Z., Todorović, N. (2006): Makroskopske karakteristike debla hrasta kitnjaka iz izdanačkih šuma NP 'Đerdap'. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 93:155-163.
- Stanish, M.A. (2008): Application of Wood Drying Simulation Models in Commercial Lumber Manufacturing. *Drying Technology* 26(9):1089-1096
- Šoškić, B., Popadić, R. (2007): Uticaj kvaliteta bukovne oblovine na strukturu glavnih i sporednih proizvoda u pilanskoj preradi. *Prerada drveta*, 20:11-16



