

UDK: 630\*812.21

UDK: 674.04

Оригинални научни рад

<https://doi.org/10.2298/GSF2123097M>

## ПРОМЕНЕ ВЛАЖНОСТИ ЕЛЕМЕНАТА БУКВЕ И ЈАСЕНА ТОКОМ ДВЕ ГОДИНЕ ИЗЛАГАЊА У СОБНИМ УСЛОВИМА

др Горан Милић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет (goran.milic@sfb.bg.ac.rs)

**Извод:** Предмет овог рада је анализа промена влажности дрвета букве и јасена током две године у собним условима (зими грејање, лети без климатизације). Регистроване промене влажности су првенствено резултат промена релативне влажности ваздуха (мерена је капацитивним сондама). Просечне релативне влажности ваздуха у ентеријеру су данас ниже него некада што је показано и у овом експерименту (просечна релативна влажност ваздуха током две године је износила 44%). Најнижу влажност је дрво достигало у врло хладним зимским данима када је просторија загревана и током ноћи – између 5% и 6%, а највишу почетком јуна: 10,4-10,9%. Очекивано, влажност дрвета није достигала равнотежну влажност – током зиме је влажност дрвета за око 1% виша, а лети нижа и до 2,5% од равнотежне. Потврђена је препорука да се резана грађа лишћара од које ће се израђивати производи за ентеријер суши на 7-8% влажности.

**Кључне речи:** буква, јасен, влажност, равнотежна влажност, клима у ентеријеру

### УВОД

Као последица промена релативне влажности ваздуха у ентеријеру, одувек су постојали проблеми изазвани променама влажности дрвета у готовим производима. Утисак је да су ови проблеми у последњим деценијама израженији због брже градње нових објеката (што као последицу има велике количине тзв. грађевинске влаге у простору), а касније због коришћења централног грејања и климатизације простора. Као илустрацију промене климе у ентеријерима довољно је навести параметре тзв. собне климе ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi = 65\%$ ). Ови услови, бар за наше климатско подручје, више нису реални, тј. просечна релативна влажност ваздуха у унутрашњем простору (зими због грејања, лети због хлађења) је свакако нижа, углавном испод 50%. Ово се, наравно, одражава и на влажност дрвета, просечна равнотежна влажност током године је у већини станова око или чак испод 8%.

Изузетак су нови објекти (нарочито зграде) где је због грађевинске влаге просечна релативна влажност и изнад 70%. Ово доводи до проблема са производима од дрвета у новим зградама, нарочито са паркетом. Наиме, новопостављени паркет током првих месеци повећава своју влажност што доводи до дубрења и деформација. Потом, у наредним годинама паркет постепено смањује своју влажност тј. исушује се и утеже што опет доводи до естетских проблема у виду зазора између елемената.

Врло је значајно да производи од дрвета, без обзира да ли упијају влагу при високим или емитују водену пару при ниским релативним влажностима ваздуха, практично на тај начин у одређеној мери поправљају ситуацију, тј. ублажавају екстремне релативне влажности ваздуха (слично је и са температуром). Овим позитивним утицајем на релативну влажност

ваздуха, позитивно се утиче и на здравље људи (Alarpieti *et al.* 2020).

Циљ овог рада је сагледавање утицаја климе у ентеријеру на промене влажности елемената (паркетних дашчица) букве и јасена. Добијени подаци о променама влажности дрвета реалних димензија праћених током скоро две године могу бити допуна анализама кривих сорпције добијених праћењем малих узорака дрвета. Значај ових експерименталних резултата расте са преиспитивањем класичних теорија сорпције, тј. начином везивања молекула воде за дрво. Током последњих година објављено је неколико радова који преиспитују постојеће теорије (Engelund *et al.* 2013, Shi i Avramidis 2017, Thybring *et al.* 2019, Willems 2015, 2018).

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

По три паркетне дашчице букве (димензије 360 x 50 x 21 mm, слика 1) и јасена (димензија 450 x 60 x 21 mm) узете су из производње одмах након вештачког сушења и машинске обраде. Постављене су на сто просторије у сутерену која се греје током зимске сезоне (централно греја-

ње, 15.10. – 15.4.). Паркетне дашчице су се налазиле уз супротни зид у односу на радијаторе, тј. на око 4 m удаљености од радијатора. Током непуне две године паркетним дашчицама је неколико пута недељно мерена маса (слика 2), а у истим терминима је мерена температура и релативна влажност ваздуха у просторији.

За мерење параметара климе коришћене су капацитивне сонде Ahlborn FHAD46 и Нигоселектроник DSVT-03 (слика 3).

На крају процеса, паркетне дашчице су осушене на апсолутно суво стање и измерена им је маса. На основу добијених података, било је могуће израчунати влажност сваке појединачне дашчице у сваком тренутку мерења масе по формули:

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 (\%)$$

где је:

$u$  – влажност паркетне дашчице у моменту мерења (%),

$m_u$  – маса паркетне дашчице у моменту мерења (g),

$m_0$  – маса паркетне дашчице у апсолутно сувом стању (g).



Слика 1. Испитиване паркетне дашчице букве



Слика 2. Мерење масе паркетне дашчице јасена



Слика 3. Капацитивне сонде за мерење температуре и релативне влажности ваздуха

На основу просечних вредности формирана је крива промена влажности током времена за букву и јасен. Анализирани су разлике између појединачних дашчица и између врста дрвета, као и брзина десорпције и адсорпције у зависности од промена параметара ваздуха у просторији. Равнотежна влажност је израчунавана према моделу *Hailwood – Horrobin* (модел је детаљно описан у Skaar 1988) који се често користи за предвиђање равнотежне влажности на основу познате температуре и релативне влажности ваздуха (e.g. Simpson 1998, Dieste et al. 2010, Мајка et al. 2014):

$$EMC = \frac{1800}{W} \cdot \left( \frac{KH}{1 - KH} + \frac{K_1KH + 2K_1K_2K^2H^2}{1 + K_1KH + K_1K_2K^2H^2} \right)$$

$$W = 349 + 1,29t + 0,0135t^2$$

$$K = 0,805 + 0,000736t - 0,00000273t^2$$

$$K_1 = 6,27 - 0,00938t - 0,000303t^2$$

$$K_2 = 1,91 + 0,0407t - 0,000293t^2$$

где је:

EMC – равнотежна влажност (%),

H – релативна влажност ваздуха (%/100),

t – температура ваздуха (°C),

W, K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> – коефицијенти модела сорпције *Hailwood – Horrobin*.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На горњем делу слике 4 приказане су промене температуре и релативне влажности ваздуха током скоро две године мерења. Вертикалне линије на графику означавају средину месеца (нпр. линија од ознаке „Окт“ означава 15. октобар), а исто важи и за график влажности дрвета. Очекивано, температура се кретала у опсегу од 17°C (у хладним данима пре и после грејне сезоне) до 25°C (у најтоплијим јулским данима), са просечном вредности 20,8°C. Варијације релативне влажности ваздуха су много веће: од минималних 16% (током изузетно хладних зимских дана када је грејање радило и ноћу) до максималних 73% (почетак јуна), са просечном вредности 44%. Ова просечна релативна влажност ваздуха у ентеријеру је

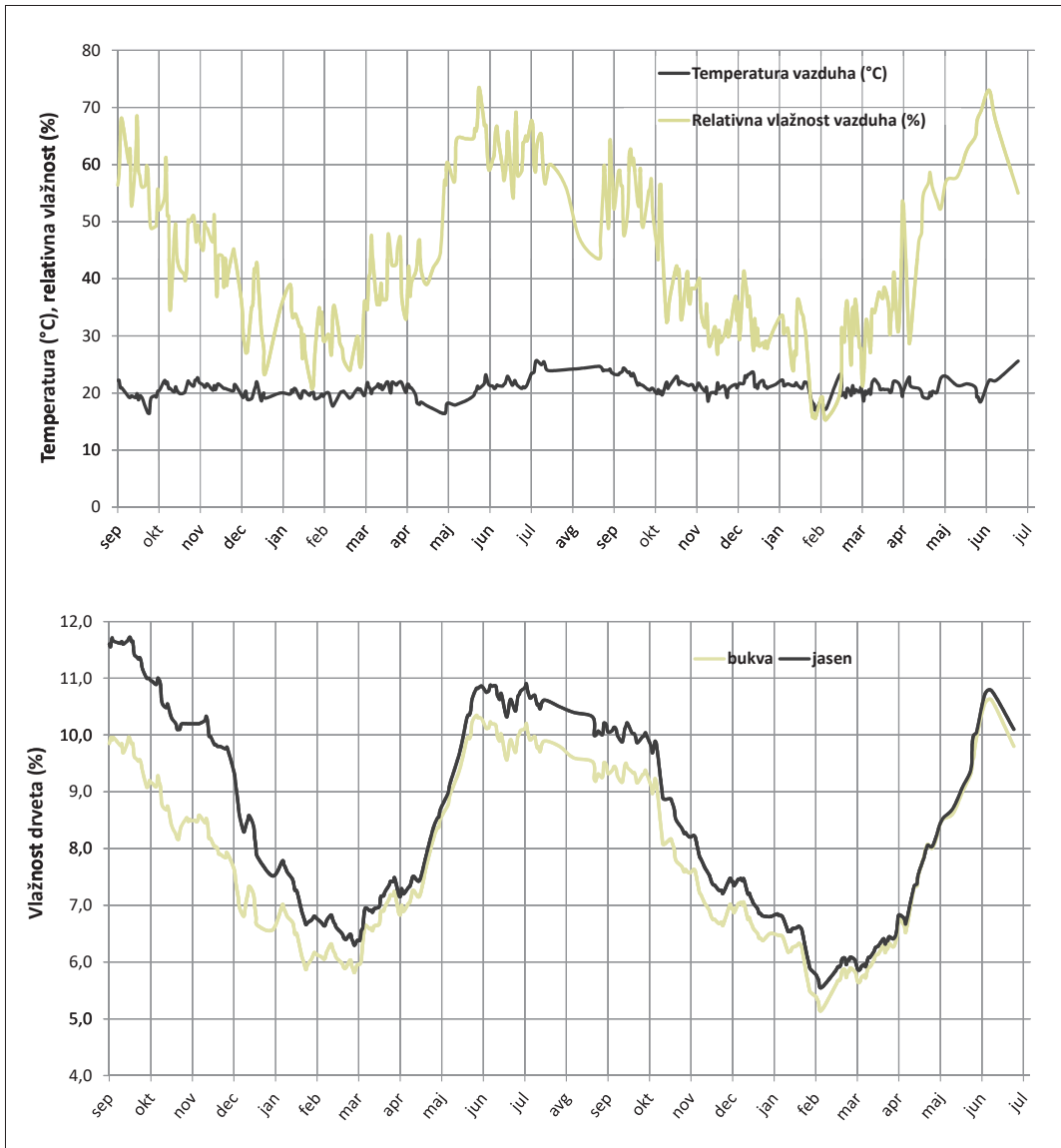
знатно нижа него у периоду од пре неколико деценија (Cividini 2000). Треба истаћи да су варијације релативне влажности ваздуха присутне и унутар 24 часа, јер је ноћу (нарочито зими због изостанка грејања током ноћи) влажност ваздуха нешто виша него дању.

На доњем делу слике 4 приказано је кретање влажности паркетних дашчица букве и јасена (просечне вредности). Почетна влажност букових дашчица је износила око 10%, док је за јасен то било више – око 11,5%. Ова разлика се током времена смањивала, али чак ни после две године није у потпуности нестала. Са слике је видљиво да влажност дрвета углавном прати релативну влажност ваздуха. Када релативна влажност ваздуха опада, снижава се и влажност дрвета и обрнуто. Процес десорпције почиње лагано већ током летњих месеци, а интензивира се са почетком грејне сезоне (октобар). Најнижу влажност дрво достиже у врло хладним зимским данима када грејање ради и током ноћи (у овом експерименту то се догодило у једној години крајем јануара и почетком фебруара и тада је влажност дрвета износила свега између 5% и 6%). Процес адсорпције почиње по правилу током марта месеца када централно грејање, због виших спољашњих температура, углавном ради смањеним капацитетом. Дрво повећава своју влажност све до почетка јуна када је и релативна влажност ваздуха највиша (касније се релативна влажност ваздуха смањује због виших температура). После прве године је влажност јасена у овом периоду износила просечно 10,9%, а букве 10,4%, а после друге године 10,8% и 10,6%, редом. Видљиво је да је, иако се разлика постепено смањује, током читавог периода просечна влажност јасена виша у односу на букву. Ово је вероватно последица ниже влажности букве након вештачког сушења, тј. чињенице да једном осушено на нижу влажност дрво – због хистерезиса сорпције – касније адсорбује нешто мању количину воде. Другим речима, равнотежна влажност му је нешто нижа. Такође, познато је да дрво јасена изложено вишим релативним влажностима ваздуха (изнад 50%) достиже вишу равнотежну влажност у односу на већину осталих тврдих лишћара (Glass et al. 2014). Ипак, потребна су додатна истраживања како би се утврдило да

ли постоје значајне разлике у равнотежној влажности за ове две врсте.

Током обе године је у периоду крај маја и почетак јуна пораст влажности дрвета износио око 0,1% дневно, односно влажност дрвета је за десетак дана повећана за 1%. Слична брзина десорпције је забележена током зимских

дана када је грејање радило без престанка. Генерално је брзина адсорпције већа од брзине десорпције што је и очекивано, јер је релативна влажност ваздуха током пролећних месеци континуирано висока, док је током зимских месеци ниска релативна влажност током дана, испресецана благим повећањем током ноћи.



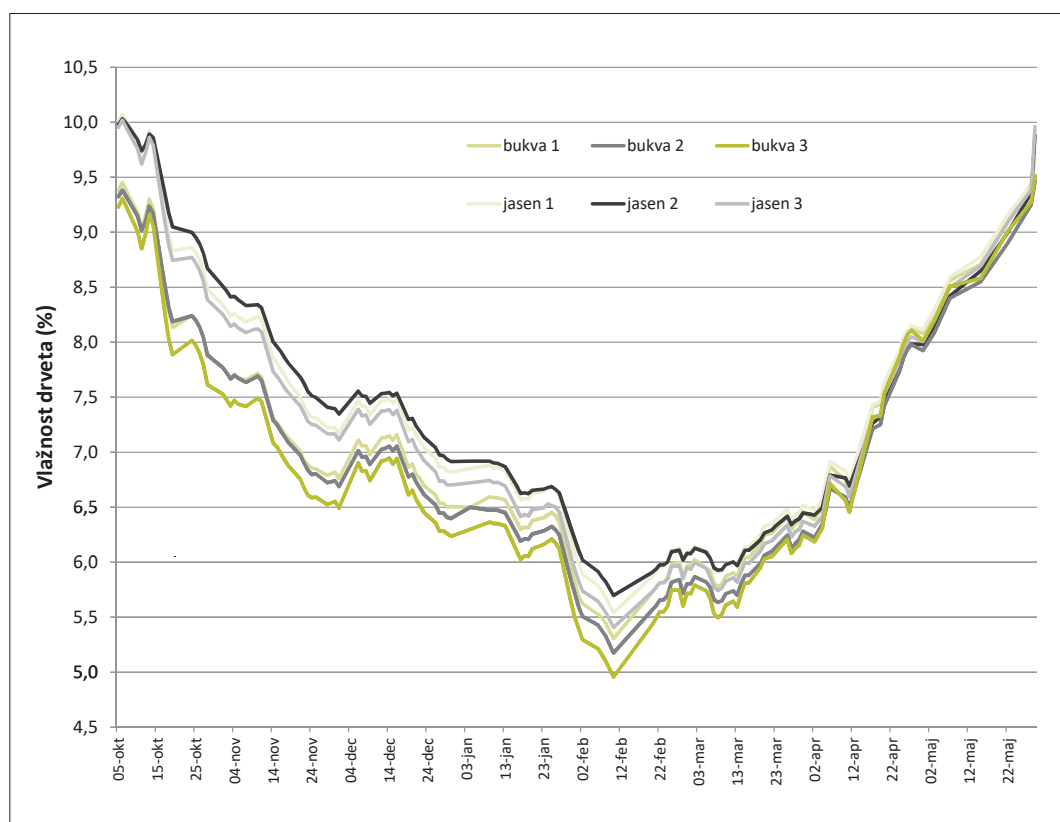
**Слика 4.** Промене током две године у ентеријеру: а) температура и релативна влажност ваздуха; б) влажност паркетних дашчица букве и јасена (просечне вредности)



На слици 5 су приказане промене влажности појединачних паркетних дашчица током дела праћеног периода (октобар – мај). Могу се уочити релативно мале разлике између појединачних дашчица исте врсте, нарочито мале током адсорпције (јер је бржа због континуирано високе релативне влажности). Током десорпције су разлике унутар врсте нешто веће. Највећа разлика између појединачних дашчица је износила 0,3% (и за једну и за другу врсту дрвета).

На слици 6 су приказане просечне влажности букве и јасена, као и одговарајућа равнотежна влажност (израчуната по формули (2)). Очекивано, влажност дрвета не достиже равнотежну влажност – током зиме је влажност дрвета за око 1% виша, а лети нижа и до 2,5% од равнотежне. Ова већа разлика лети је последица релативно кратког периода у ком је равнотежна влажност врло висока, али и хисте-

резиса сорпције (током адсорпције је разлика између стварне влажности дрвета и израчунате равнотежне влажности већа него током десорпције). Важно је нагласити да појам равнотежне влажности није од великог значаја за услове променљиве климе у ентеријеру, тј. да се температура и релативна влажност ваздуха стално мењају и дрво нема времена да достигне влажност равнотеже, јер су процеси адсорпције и десорпције врло спори. Ово је последица ниских коефицијената дифузије у попречним правцима. Због тога се може очекивати да се, под утицајем дневних варијација климе, влажност дрвета мења само у слоју од око 1 mm (Nemeury 2005). И други истраживачи наводе да се промена влажности под утицајем краткотрајних осцилација климе догађа само у површинском слоју дрвета (Milić *et al.* 2020). У овом истраживању су промене у маси дрвених

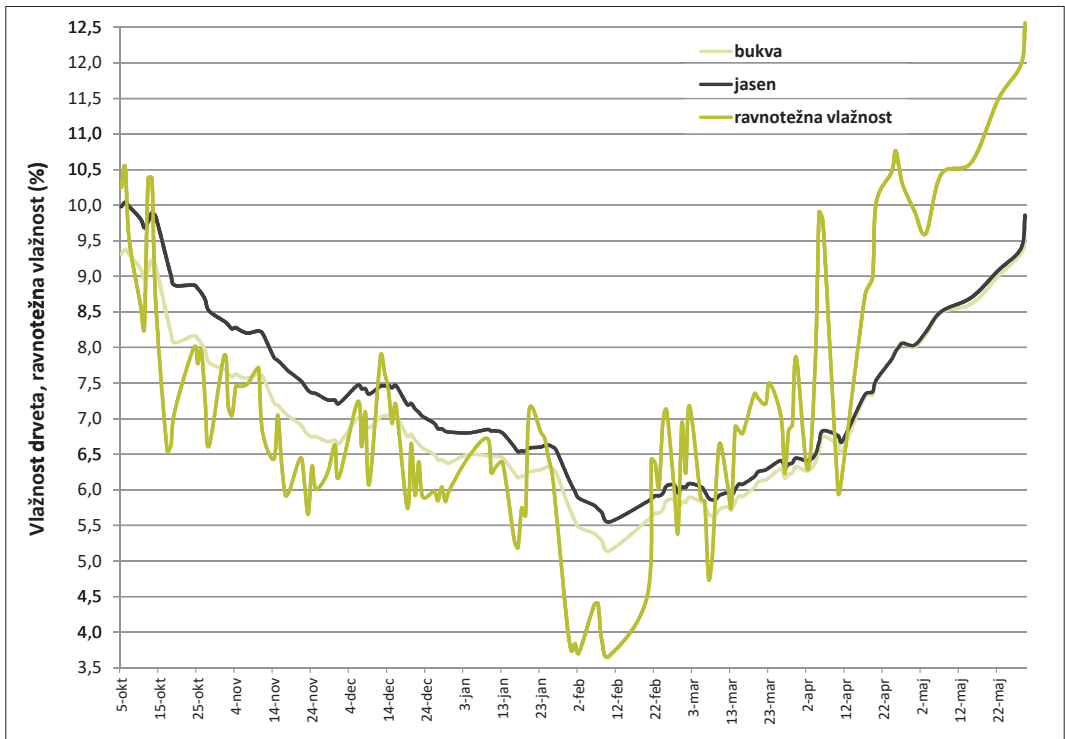


Слика 5. Промена влажности појединачних паркетних дашчица букве и јасена у периоду октобар – мај

дашчица биле на дневном нивоу максимално до 0,4 g. Ако би се ова комплетна промена приписала само површинском слоју дрвета (1 mm) могли би очекивати да је промена влажности тог танког слоја на дневном нивоу до 0,5% (на самој површини више, а на дубини од 1 mm мање од овог просека).

Подаци о кривама сорпције у литератури су углавном добијени климатизацијом узорка дрвета на тачно одређеној релативној влажности ваздуха (нпр. над солима). У новије време се за то користе тзв. ДВС (*Dynamic Vapour Sorption*) анализатори – уређаји у којима се крива сорпције добија преко мерења масе дрвета у условима променљиве релативне влажности ваздуха. Метод је много бржи у односу на уобичајену климатизацију (у клима комори или над солима), али је показано (Glass *et al.* 2017) да су времена која истраживачи користе за достижање одређене равнотежне влажности углавном прекратка (обично максимално 60 минута),

тј. да дрво, упркос малим димензијама, за овај период не достигне равнотежну влажност, нарочито при вишим релативним влажностима. Ово доводи до недовољно тачних резултата, иако сам метод обезбеђује много прецизнију контролу климе него нпр. климатизација над солима. И неки други истраживачи (e.g. Willems 2015) наводе да се изотерме сорпције добијене ДВС методом током неколико дана разликују од оних добијених мануелно (над солима) током неколико недеља. Овде приказани резултати су добра основа за поређење реалних података у експлоатацији производа од дрвета у ентеријеру са лабораторијским подацима о кривама сорпције. Битно је истаћи да дрво у овом експерименту није било уграђено, нити лакирано. Код уграђеног и лакираног паркета могу се очекивати спорије промене, као и мањи опсег промена влажности (виша минимална и нижа максимална вредност).



Слика 6. Промена равнотежне влажности и влажности паркетних дашчица букве и јасена током две године у ентеријеру

## ЗАКЉУЧЦИ

У раду је анализирана промена влажности дрвета букве и јасена током две године у ентеријеру у варијабилним климатским условима. На основу добијених резултата могу се извући следећи закључци:

1. Током две године праћења, просечна температура у простору у сутерену зграде (зими грејање, лети без климатизације) је износила 20,8°C, а просечна релативна влажност 44%. Ово је знатно нижа релативна влажност ваздуха од некада уобичајених за ентеријер.
2. Просечна равнотежна влажност за наведене услове климе износи 8,3%. Имајући у виду да је за просторе који нису у сутерену просечна релативна влажност ваздуха (тимае и равнотежна влажност) још нижа, препору-

ка је да се резана грађа лишћара од које ће се израђивати производи за ентеријер суши на 7-8% влажности.

3. Најнижу влажност је дрво достизало у врло хладним зимским данима када је грејање радило и током ноћи и тада је влажност дрвета износила између 5% и 6%, а највишу почетком јуна: 10,4-10,9%.
4. Очекивано, влажност дрвета није достигала израчунату равнотежну влажност – током зиме је влажност дрвета за око 1% виша, а лети нижа и до 2,5% од равнотежне. Ова већа разлика лети је последица релативно кратког периода у ком је равнотежна влажност врло висока, али и хистерезиса сорпције.

**Напомена:** Рад је реализован у оквиру пројекта 451-02-68/2020/14/2000169 који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## MOISTURE CONTENT CHANGES OF BEECH AND ASH ELEMENTS DURING TWO YEARS IN ROOM CONDITIONS

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

**Abstract:** The subject of this paper is the analysis of moisture content (MC) changes of beech and ash wood during two years in room conditions (heating during winter; no air conditioning during summer). The registered MC changes are primarily the result of changes in relative humidity of the air (measured by capacitive probes). The average relative humidity of the air in the interior is lower today than in the past, as also shown in this experiment (the average relative humidity of air during two years was 44%). The lowest wood MC was reached on very cold winter days when the heating was on even during the night - between 5% and 6%, and the highest one at the beginning of June: 10.4-10.9%. As expected, the wood did not reach equilibrium moisture content – during winter, MC is by about 1% higher, and in summer it is lower by up to 2.5% than the equilibrium. The recommendation that the sawn timber from which the interior products will be made should be dried at 7-8% MC was confirmed.

**Key words:** beech, ash, moisture content, equilibrium moisture content, climate in the interior

## INTRODUCTION

As a consequence of changes in the relative humidity of the air in the interior, there have always been problems caused by moisture content (MC) changes of wood used in finished products. The impression is that these problems have been more pronounced in recent decades due to the faster construction of new buildings (which results in large amounts of so-called “construction moisture”), as well as due to the use of central heating and air conditioning. As an illustration of the changed climate in interiors, it is enough to state the parameters of the so-called room climate ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH} = 65\%$ ). These conditions, at least for our climate area, are no longer realistic, i.e. the average relative humidity in the interior (in winter due to heating, in summer due to cooling) is certainly lower, often below 50%. This is reflected on wood MC, and the average equilibrium moisture content (EMC) during the year in most apartments is around, or even below 8%. The exceptions are new buildings (especially multi-storey buildings) in which the average relative humidity is often above 70% due to construction (built-in) moisture. This leads to problems with wood products in new buildings, especially with wooden floors. Namely, the newly installed wood during the first months increases its MC, which leads to the swelling and deformations. Then, in the following years, the wood floor MC is gradually reduced, i.e. it dries out and shrinks, which again leads to problems, now in the form of gaps between the elements.

It is very important that wood products, regardless of whether they absorb moisture at high or emit water vapor at low relative humidity, passively regulate indoor moisture fluctuations, i.e. have a moisture buffering effect (it is similar for the temperature). In this way, the wood products exert a positive effect on human health (Alapiet *et al.* 2020).

This paper aims to reveal the influence of climate in the interior on MC changes of beech and ash parquet elements. The obtained data on MC changes of bigger samples monitored during almost two years can be a supplement to the analysis of sorption curves obtained by monitoring typical, small wood samples. The significance of such

experimental results grows with the re-examination of classical sorption theories, i.e. wood-water interactions. In recent years, several papers have been published that review the existing theories (Engelund *et al.* 2013, Shi and Avramidis 2017, Thybring *et al.* 2019, Willems 2015, 2018).

## MATERIAL AND METHODS

Three parquet elements of beech (dimensions 360 x 50 x 21 mm, Fig. 1) and ash (dimensions 450 x 60 x 21 mm) were taken from the factory immediately after kiln drying and machining. They are placed on a table about 4 m distance from radiators, in a basement room that is heated during the winter season (central heating, 15.10.-15.04.). The mass of parquet elements was measured several times a week (Fig. 2) for almost two years, while the temperature and relative humidity in the room were measured at the same time.



Figure 1. Beech parquet elements



Figure 2. Mass measurement of the ash parquet element



**Figure 3.** Capacitive probes for measuring temperature and relative humidity of the air

Ahlborn FHAD46 and Nigos-electronics DSVT-03 capacitive probes were used to measure climate parameters (Fig. 3).

At the end of the process, the parquet elements were oven-dried and their mass was measured. Based on the obtained data, it was possible to calculate the MC of each element at the time of mass measurement according to the formula:

$$MC = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

where:

MC – moisture content of the parquet element at the time of measurement (%),

$m_u$  – mass of the parquet element at the time of measurement (g),

$m_0$  – oven-dry mass of the parquet element (g).

Based on the average values, a curve of MC change over time was formed for beech and ash wood. The differences between individual elements and between wood species were analyzed, as well as the rate of desorption and adsorption depending on the changes of the air parameters in the room. EMC was calculated according to the Hailwood-Horrobin model (a model described in

detail in Skaar 1988), which is often used to predict EMC based on known temperature and relative humidity (e.g. Simpson 1998, Dieste *et al.* 2010, Mother *et al.* 2014):

$$EMC = \frac{1800}{W} \cdot \left( \frac{KH}{1 - KH} + \frac{K_1KH + 2K_1K_2K^2H^2}{1 + K_1KH + K_1K_2K^2H^2} \right)$$

$$W = 349 + 1,29t + 0,0135t^2$$

$$K = 0,805 + 0,000736t - 0,00000273t^2$$

$$K_1 = 6,27 - 0,00938t - 0,000303t^2$$

$$K_2 = 1,91 + 0,0407t - 0,000293t^2$$

where:

EMC – equilibrium moisture content (%),

H – relative humidity of the air (%/100),

t – air temperature (°C),

W, K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> – Hailwood - Horrobin sorption model coefficients.

## RESULTS AND DISCUSSION

The upper part of Figure 4 depicts the changes in temperature and relative humidity of the air during almost two years. The vertical lines on the graph indicate the middle of the month (e.g. the line marked “Oct” indicates October 15), and the same applies to the graph of wood MC. As expected, the temperature ranged from 17°C (on cold days before and after the heating season) to 25°C (on the warmest days in July), with an average value of 20.8°C. The variations in relative humidity were much higher: from a minimum of 16% (during extremely cold winter days when the heating was working all the time) to a maximum of 73% (early June), with an average value of 44%. This average relative humidity in the interior is significantly lower than several decades ago (Cividini 2000). It should be noted that variations in relative humidity exist within 24 hours as well, because at night (especially in winter due to the lack of heating during the night) the humidity is slightly higher than during the day.

The lower part of Figure 4 depicts the MC changes of beech and ash parquet elements (average values). The initial MC of beech elements was about 10%, while for ash it was higher - about



11.5%. This difference diminished over time, but even after two years, it did not completely disappear. It can be seen from the figure that MC mostly follows the relative humidity of the air. When the relative humidity decreases, MC decreases. The desorption process begins slowly already during the summer months and intensifies with the beginning of the heating season (October). The wood reached the lowest MC on very cold winter days when the heating worked during the night (in this experiment it happened in one year at the end of January and the beginning of February – in that period MC of the wood was between 5% and 6% only). The adsorption process usually begins during March, when the central heating – due to higher outdoor temperatures – mainly works at a reduced capacity. The wood increased its MC until the beginning of June when the relative humidity is the highest (relative humidity later decreases due to higher temperatures). After the first year, the MC of ash in this period was on average 10.9% and of beech 10.4%, and after the second year 10.8% and 10.6%, respectively. It can be seen that the average MC of ash is higher than that of beech during the entire period, although the difference is gradually decreasing. This is probably a consequence of the lower MC of beech wood after kiln drying, i.e. the fact that once dried to a lower MC, the wood – due to sorption hysteresis – later adsorbs a slightly smaller amount of water compared to the wood dried to a higher final MC. In other words, its EMC is slightly lower. Moreover, it is known that the ash wood exposed to a higher relative humidity (above 50%) reaches a higher MC compared to most other hardwoods (Glass *et al.* 2014). However, further research is needed to determine if there are significant differences in EMC for these two species.

In both years, in the period end of May - beginning of June, the increase of MC was about 0.1% per day, i.e. MC of the wood increased by 1% in ten days. A similar rate of desorption was observed during the winter days when the heating was running continuously. In general, the rate of adsorption is higher than that of desorption, which is expected, because relative humidity is continuously high during spring months, while during winter months relative humidity is low during the day, but with a slight increase during every night.

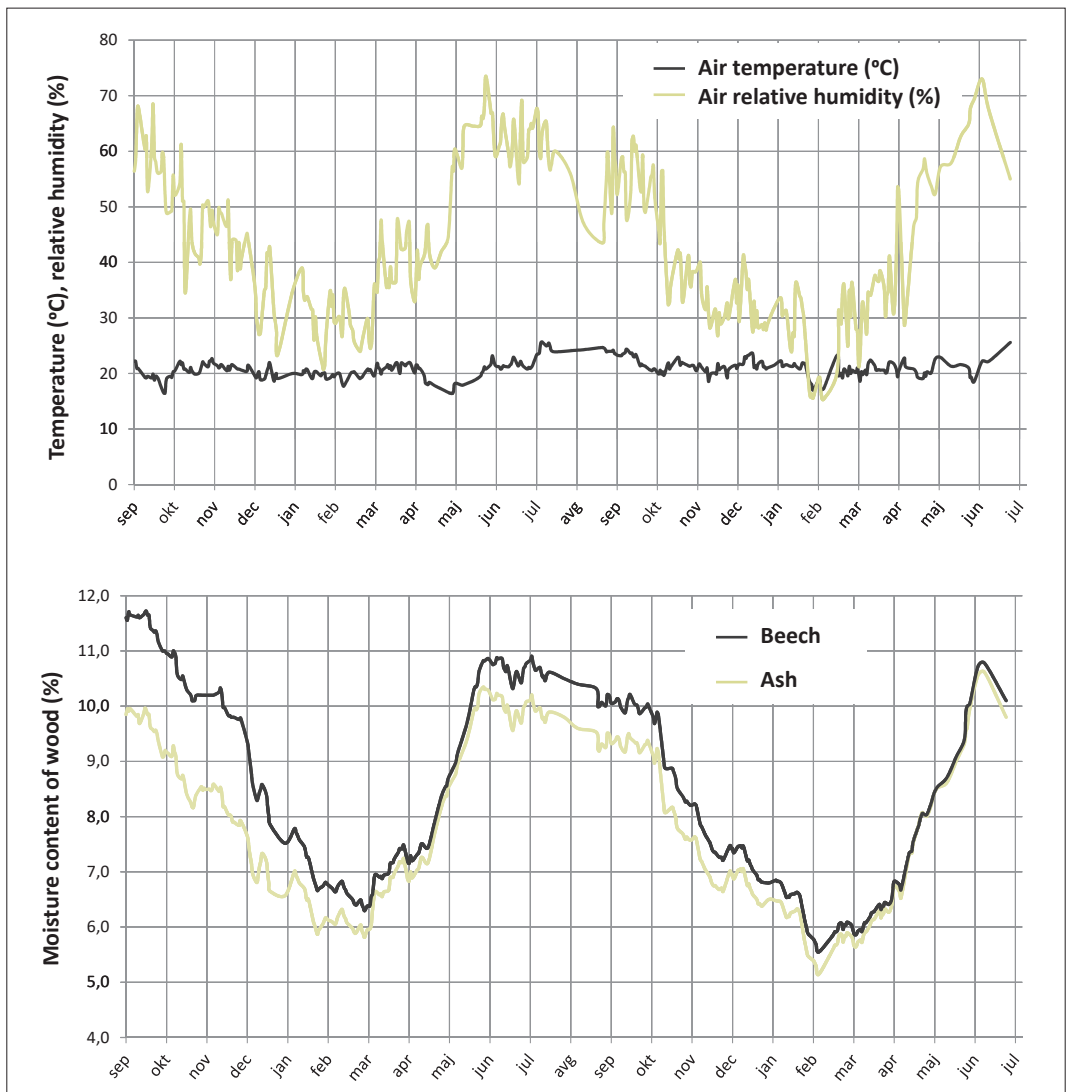
Figure 5 depicts the MC changes of individual parquet elements during a part of the monitored period (October - May). Relatively small differences between individual elements of the same species can be observed, especially small during adsorption (because it is faster due to continuously high relative humidity). During desorption, the differences within the species are somewhat larger. The largest difference between individual elements was 0.3% (for both wood species).

Figure 6 shows the average MC of beech and ash elements, as well as the corresponding EMC (calculated by the formula (2)). As expected, the wood did not reach EMC – during winter, MC is by about 1% higher, and in summer it is lower by up to 2.5% than EMC. This higher difference in summer is a consequence of a relatively short period in which relative humidity of the air is very high, but also the sorption hysteresis (during adsorption the difference between the actual wood MC and the calculated EMC is higher than during desorption). It is important to emphasize that the concept of EMC is not of great importance for the conditions of changing climate in the interior – the temperature and relative humidity are constantly changing and wood does not have time to reach EMC, because the processes of adsorption and desorption are very slow. This is the consequence of low diffusion coefficients of wood in the transverse directions. Therefore, it can be expected that, under the influence of daily climate variations, MC of the wood changes only in a layer of about 1 mm (Hameury 2005). Other researchers also reported that, under the influence of short-term oscillations of the climate, the MC change occurs only in the surface layer of wood (Milić *et al.* 2020). In this study, changes in the mass of wood elements were up to 0.4 g per day. If this change were attributed only to the surface layer of wood (1 mm), we could expect that the MC change of this thin layer is up to 0.5% daily (on the surface itself more, and at a depth of 1 mm less than this average).

Data on sorption isotherms in the literature were mainly obtained by the conditioning of small wood samples at a well-defined relative humidity of the air (e.g. over saturated salt solutions). In recent times, researchers often use the so-called DVS (Dynamic Vapor Sorption) analyzers – devices in which the sorption curve is obtained by con-

tinuously measuring the mass of wood in conditions of variable relative humidity. The method is much faster than common conditioning (in climate chamber or over the salts), but it has been shown (Glass *et al.* 2017) that the times that researchers use to reach a certain equilibrium (hold times) are generally too short (usually a maximum of 60 minutes), i.e. that the wood, despite its small dimensions (milligram range), does not reach EMC

during this period, especially at higher relative humidity. This leads to insufficiently accurate results, although the method provides much more precise climate control than e.g. conditioning over salts. Some other researchers (e.g. Willems 2015) also state that the sorption isotherms obtained with DVS over a few days differ from those collected manually over many weeks. The results presented here are a good basis for comparing real data dur-



**Figure 4.** Changes during two years in the interior: a) air temperature and relative humidity; b) moisture content of beech and ash parquet elements (average values)

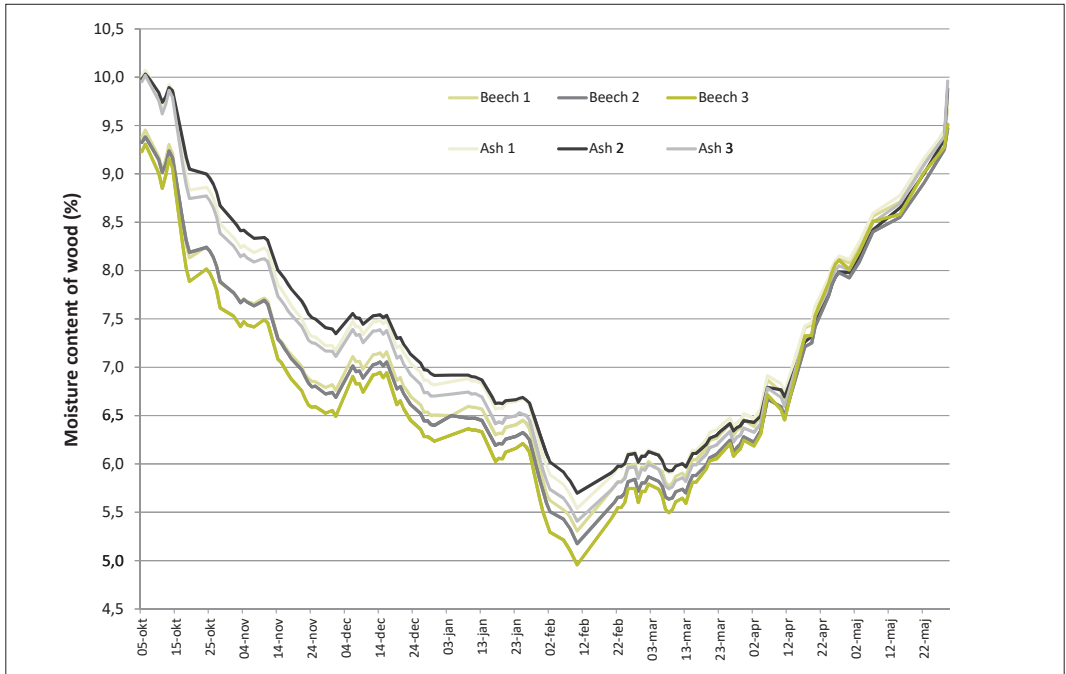


Fig. 5. Moisture content change of individual parquet elements of beech and ash during the period October – May

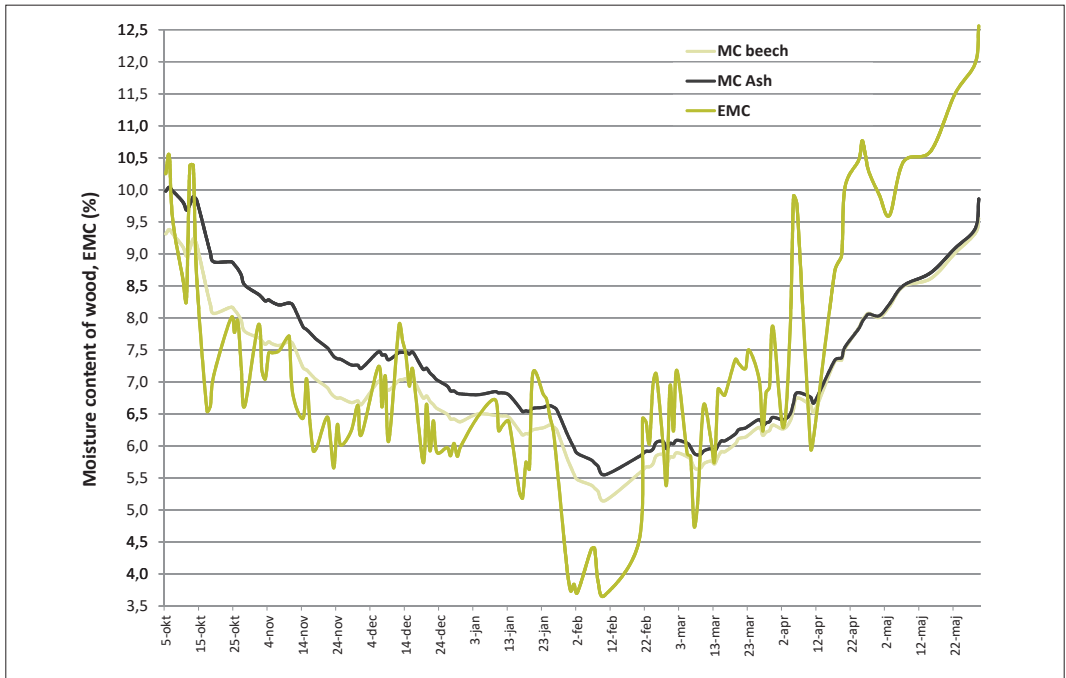


Figure 6. Change of EMC and MC of beech and ash parquet elements during two years in the interior

ing the use of wood products in the interior with laboratory data on sorption curves. It is important to point out that the wood in this experiment was not built-in or coated. Slower changes, as well as a smaller range of MC (higher minimum and lower maximum value) can be expected with installed and coated parquet.

## CONCLUSIONS

The paper analyzes the moisture content change of beech and ash wood during two years in the interior with variable climatic conditions. The following conclusions can be drawn on the basis of the obtained results:

1. During the two years of monitoring, the average temperature in the laboratory located in the basement of the building (heating in winter, without air conditioning in summer) was 20.8°C, and the average relative humidity was 44%. This is a significantly lower relative humidity for the interior than in the past.
2. The average EMC for the stated climatic conditions is 8.3%. Bearing in mind that for spaces that are not in the basement, the average relative humidity (also EMC) is even lower, it is recommended that the sawn hardwood timber, from which the interior products will be made, should be dried at 7-8% MC.
3. The lowest wood MC was reached in very cold winter days when the heating was working during the night and then the wood MC was between 5% and 6%, and the highest one was recorded at the beginning of June: 10.4-10.9%.
4. As expected, the wood did not reach the calculated EMC – during winter, wood MC is by about 1% higher, and in summer it is lower by up to 2.5% than EMC. This larger difference in summer is a consequence of a relatively short period in which relative humidity of the air is very high, but also of sorption hysteresis.

**Note:** This research was realized within the project 451-02-68/2020/14/2000169 financed by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alapieti T., Mikkola R., Pasanen P., Salonen H. (2020): The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review. *European Journal of Wood and Wood Products* 78:617–634.
- Cividini R. 2000. Conventional kiln-drying of lumber. Nardi S.p.A., 64s.
- Dieste A., Krause A., Mai C., Militz H. (2010): The calculation of EMC for the analysis of wood/water relations in *Fagus sylvatica* L. modified with 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea. *Wood Science and Technology* 44:597–606.
- Engelund E.T., Thygesen L.G., Svensson S., Hill CAS. (2013): A critical discussion of the physics of wood–water interactions. *Wood Science and Technology* 47:141–161.
- Glass S., Boardman C., Zelinka S. (2017): Short hold times in dynamic vapor sorption measurements mischaracterize the equilibrium moisture content of wood. *Wood Science and Technology* 51:243–260.
- Glass S., Zelinka S., Johnson J. (2014): Investigation of Historic Equilibrium Moisture Content Data from the Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL–GTR–229. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, 34s.
- Hameury S. (2005): Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study. *Building and Environment* 40(10):1400-1412.
- Majka J., Olek W., Kudła-Chwiłowicz Z. (2014): Determination of moisture content changes in kiln-dried Scots pine timber during storage. *Drewno* 57(191):45-54.
- Milić G., Veizović M., Todorović N. (2020): Influence of climate oscillations on moisture content profiles of beech timber during initial stages of drying, IX Hardwood Conference, Sopron, Hungary, 194-199.
- Simpson W.T. (1998): Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide. Res. Note FPL–RN-0268. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 11s.
- Shi J., Avramidis S. (2017): Water sorption hysteresis in wood: I review and experimental pat-

- terns – geometric characteristics of scanning curves. *Holzforschung* 71(4):307-316.
- Skaar C. (1988): Wood-water relations. Springer Verlag, Berlin, 263s.
- Thybring E.E., Glass S.V., Zelinka S.L. (2019): Kinetics of Water Vapor Sorption in Wood Cell Walls: State of the Art and Research Needs. *Forests* 10, 704.
- Willems W (2015): A critical review of the multilayer sorption models and comparison with the sorption site occupancy (SSO) model for wood moisture sorption isotherm analysis. *Holzforschung* 69:67–75.
- Willems W. (2018): Hygroscopic wood moisture: single and dimerized water molecules at hydroxyl-pair sites? *Wood Science and Technology* 52:777–791.

