

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ И ТОПОЛЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

З. Пастори<sup>1</sup>, Н. Хорват<sup>1</sup>, З. Борчок<sup>1</sup>, В.Г. Санаев<sup>2</sup>, Г.А. Горбачева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Инновационный центр, Шопронский университет, 9400, Венгрия, Шопрон, ул. Байчи-Жилински, д. 4

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Термическая модификация древесины в последние десятилетия является одним из наиболее динамично развивающихся направлений научных исследований в области деревообработки. Поскольку термообработанная древесина используется в качестве ограждающих конструкций зданий, таких как элементы стен, окон, кровли и облицовки, важно знать тепловые свойства термодревесины. Несмотря на значительное число работ в области термического модифицирования, всего в нескольких статьях рассматривается изменение теплопроводности древесины после термообработки. В работе приводятся результаты исследования теплопроводности древесины клона тополя «Паннония» (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) до и после термической обработки (при 180 °С в течение 15, 25 и 35 ч). Известно, что термообработка влияет на физические свойства древесины, в том числе на плотность и теплопроводность. Результаты экспериментов показали, что плотность древесины тополя снизилась на 9,1, 12,1 и 13,4 %, теплопроводность — на 16,9, 24,0, 25,4 % после 15, 25 и 35 ч термической обработки соответственно. Для древесины ели отмечено меньшее влияние: плотность снизилась на 5,2, 7,6 и 8,7 %, теплопроводность — на 7,4, 11,5 и 22,0 % соответственно. Для термообработанных образцов также отмечено снижение равновесной влажности, величина которой зависит от продолжительности режима термического модифицирования. После термообработки в течение 15, 25 и 35 ч величина равновесной влажности уменьшилась до 6,8, 6,0 и 5,9% для древесины тополя и 8,0, 7,2 и 6,6 % для древесины ели соответственно. Зависимость снижения величины равновесной влажности древесины образцов от продолжительности обработки носит нелинейный характер.

**Ключевые слова:** теплопроводность, термообработка, модификация древесины, термодревесина

**Ссылка для цитирования:** Пастори З., Хорват Н., Борчок З., Санаев В.Г., Горбачева Г.А. Изменение теплопроводности древесины ели и тополя при термической обработке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-95-100

Термическая модификация древесины в последние десятилетия является одним из наиболее динамично развивающихся направлений научных исследований в области деревообработки [1]. Термическая обработка различных пород древесины началась еще в прошлом веке. Успех финской технологии ThermoWood позволил сосредоточить научные исследования в области термической обработки древесины в 1990-х годах. Благодаря термообработке улучшаются формостабильность и биологическая стойкость, однако снижаются показатели механических свойств древесины [2–4]. Термическое модифицирование древесины приводит к уменьшению объема и массы древесины и, следовательно, к снижению плотности [5, 6]. Изменения свойств древесины зависят от температуры и продолжительности обработки, количества кислорода, присутствующего при обработке, а также начальной влажности древесины.

Поскольку термообработанная древесина используется в качестве ограждающих конструкций зданий, таких как элементы стен, окон, кровли и облицовки, важно знать тепловые свойства древесины [7]. После термообработки наблюдается снижение теплопроводности. Древесина является анизотропным материалом, и ее те-

плопроводность зависит от направления теплового потока, температуры окружающей среды, плотности древесины, ее влажности и наличия пороков [8].

Несмотря на значительное число работ в области термического модифицирования, всего в нескольких статьях рассматривается изменение теплопроводности древесины после термической обработки, среди них [9]. Кол С.Х. и Сефил И. [10] провели исследование изменений теплопроводности, плотности и равновесной влажности древесины пихты (*Abies nordmanniana*) и бука (*Fagus sylvatica*), термически обработанных при температуре 170, 180, 190, 200, 212 °С. Для обеих древесных пород выявлено уменьшение теплопроводности. Для бука отмечено более значительное уменьшение плотности, что влияет на снижение теплопроводности. Различия для данных пород объясняются разными химическим составом и величиной плотности. Коркут С. и другие авторы [8] исследовали теплопроводность черешни (*Prunus avium*) в радиальном и тангенциальном направлениях. Полученные значения для данных направлений были довольно близки: при увеличении продолжительности термообработки наблюдалось пропорциональное уменьшение показателей.

## Цель работы

Целью данной работы является экспериментальное исследование теплопроводности термически обработанной древесины тополя и древесины ели.

## Материалы и методы

Экспериментальные исследования были проведены для двух древесных пород: клона тополя «Паннония» (*Populus × euramericana* cv. *Pannonia*) и ели обыкновенной (*Picea abies*). Плантационное выращивание приобретает все большее значение во всех регионах мира. В работе были проведены исследования свойств древесины клона тополя «Паннония» (*Populus × euramericana* cv. *Pannonia*), который широко распространен как культура для искусственного лесовыращивания в Венгрии и применяется в деревообрабатывающей промышленности. Следует отметить тенденцию расширения возможных областей использования древесины быстрорастущих клонов тополя [11]. Использование древесины клонов тополя ограничено их низкой стойкостью, однако термическая обработка позволяет значительно увеличить биостойкость. Древесина ели обыкновенной (*Picea abies*) широко используется в деревянном домостроении. Обе древесные породы были изучены в одинаковых условиях: экспериментально определялись значения равновесной влажности  $W_p$ , плотности при равновесной влажности  $\rho$  и коэффициента теплопроводности  $\lambda$  для образцов из древесины тополя и ели до и после термообработки.

Испытания проводились на образцах размерами 200×200×20 мм (Т×L×R), выпиленных из ядровой зоны. Принятая схема изготовления образцов позволяла осуществить исследования теплопроводности в направлении поперек волокон. Образцы в течение двух недель находились в климатической камере при температуре 20 °С и влажности 65 %. Теплопроводность всех образцов измерялась до и после термической обработки. В результате термического модифицирования наблюдалось коробление, изменилась форма образцов, поэтому для проведения последующих измерений, требующих строго параллельных и плоских поверхностей, толщина образцов была уменьшена до 18 мм.

Измерение было выполнено методом плоской пластины. Разница между холодной и горячей плитами составила 15 °С. Для обеспечения параллельных линий теплового потока изоляция шириной 15 см была использована на сторонах образцов. Измерение начиналось после установления стационарного теплового режима. Тепловой поток через испытуемый образец считали установившимся, если отклонения (разница) последних 50 измерений в минуту была меньше 0,002 Вт/(м·К).

Для каждой древесной породы испытывалась партия образцов (20 шт.), проводилось несколько серий экспериментов для различных режимов термообработки. Термическое модифицирование осуществлялось при температуре 180 °С по трем режимам: продолжительность обработки — 15, 25 и 35 ч. Для удаления связанной воды образцы предварительно нагревались от 25 до 90 °С в течение 5 ч, затем от 90 до 130 °С в течение 5 ч, от 130 до 180 °С в течение 2 ч. Далее проводились термическое модифицирование в соответствии с выбранным режимом (15, 25 и 35 ч) и последующее охлаждение образцов до температуры 25 °С в течение 15 ч. Для исключения влияния внутривидовой изменчивости коэффициенты теплопроводности были измерены на каждом образце до и после термообработки.

## Результаты и обсуждение

Результаты экспериментального исследования коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , плотности  $\rho$  и равновесной влажности  $W_p$  для образцов древесины тополя и ели до и после термообработки, изменение коэффициента теплопроводности  $\Delta\lambda$  и плотности  $\Delta\rho$  представлены в таблице. Выявлено значительное уменьшение величины равновесной влажности  $W_p$ , коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , плотности  $\rho$  для древесины тополя и ели после термического модифицирования. В результате термообработки величина плотности древесины тополя уменьшилась на 9,1, 12,1 и 13,4 %, коэффициента теплопроводности — на 16,9, 24,0, 25,4 % после 15, 25 и 35 ч обработки соответственно. Для древесины ели отмечено меньшее влияние термообработки на данные показатели физических свойств: плотность снизилась на 5,2, 7,6 и 8,7 %, теплопроводность — на 7,4, 11,5 и 22,0 %, соответственно (см. табл.), что объясняется меньшим содержанием гемицеллюлоз, отличающихся более низкой термической стойкостью [12].

После термообработки в течение 15, 25 и 35 ч величина равновесной влажности уменьшилась до 6,8, 6,0 и 5,9 % для древесины тополя и 8,0, 7,2 и 6,6 % для древесины ели соответственно. Зависимость снижения величины равновесной влажности древесины образцов от продолжительности обработки носит нелинейный характер.

На рисунке показано снижение плотности и коэффициента теплопроводности древесины тополя и древесины ели при различной продолжительности обработки. Результаты экспериментов показали значительное влияние продолжительности термообработки на снижение величины равновесной влажности, плотности и коэффициента теплопроводности для древесины тополя и древесины ели. Для древесины тополя снижение плотности составило 13,4 %, для древесины ели — 8,7 %

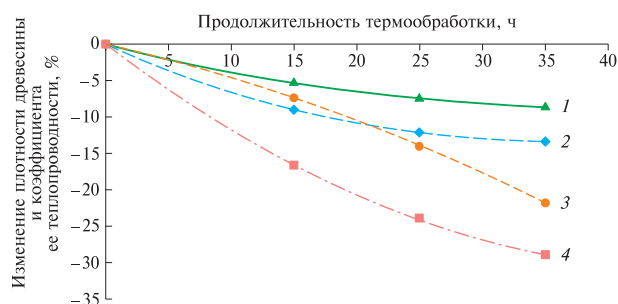
**Результаты исследования коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , плотности  $\rho$  и равновесной влажности  $W_p$  древесины тополя и ели до и после термообработки**  
**The study results of thermal conductivity coefficient  $\lambda$ , density  $\rho$  and equilibrium moisture content  $W_p$  of poplar and spruce wood before and after heat treatment**

Древесная порода	Режим термообработки, ч	Показатели до термообработки			Показатели после термообработки				
		$W_p$ , %	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$W_p$ , %	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta\lambda$ , %	$\Delta\rho$ , %
Тополь	15	11,390	0,103	340	6,826	0,086	309	-16,9	-9,1
	25	12,390	0,108	398	6,094	0,082	350	-24,0	-12,1
	35	11,855	0,104	407	5,941	0,078	353	-25,4	-13,4
	Контрольный	11,750	0,099	418	—	—	—	—	—
Ель	15	12,705	0,091	410	7,998	0,083	385	-7,4	-5,2
	25	11,905	0,109	467	7,194	0,097	431	-11,5	-7,6
	35	11,690	0,125	520	6,613	0,101	475	-22,0	-8,7
	Контрольный	11,570	0,118	509	—	—	—	—	—

после 35 ч термической обработки, что объясняется меньшей термической стабильностью лиственных пород по сравнению с хвойными [13]. При увеличении времени термообработки наблюдается нелинейная зависимость, теплопроводность и плотность снижаются с уменьшающейся скоростью. Для обеих пород выявлено большее влияние термообработки на коэффициент теплопроводности, чем на изменение плотности.

Степень снижения коэффициента теплопроводности древесины тополя и древесины ели существенно различается. Более заметные изменения выявлены для древесины тополя. В течение первых 15 часов снижение коэффициента теплопроводности для образцов из древесины тополя составило 16,9 %, из древесины ели — 7,4 %. Зависимость коэффициента теплопроводности от времени термомодифицирования имеет близкую к линейной зависимость для древесины ели и носит нелинейный характер для древесины тополя.

В работе Кол С.Х. и Сефил И. [10] приведены результаты исследования уменьшения плотности и теплопроводности древесины бука и древесины пихты при термообработке. Показано, что для древесины бука характерна более высокая относительная потеря массы, несмотря на более высокие значения плотности по сравнению с древесиной пихты. Это хорошо согласуется с результатами проведенных экспериментов. И хотя плотность древесины тесно связана с теплопроводностью аналогичным образом, для древесины тополя коэффициент теплопроводности тополя снизился в большей мере, чем для древесины ели. Древесина хвойных (ель и пихта) являются более устойчивыми к термической обработке независимо от плотности и режима обработки по сравнению с древесиной лиственных пород (тополь и бук).



Изменения плотности древесины ели (1) и коэффициента теплопроводности древесины ели (3), плотности древесины тополя (2) и коэффициента теплопроводности древесины тополя (4) в зависимости от продолжительности термообработки

Changes in the density of spruce wood (1) and thermal conductivity of spruce wood (3), poplar wood density (2) and poplar wood thermal conductivity (4) depending on the duration of heat treatment

## Выводы

Таким образом, проведенные эксперименты показали значительное уменьшение величины равновесной влажности  $W_p$ , коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , плотности  $\rho$  для образцов древесины тополя «Паннония» (*Populus × euramericana* cv. *Pannonia*) и древесины ели обыкновенной (*Picea abies*) после термического модифицирования при 180 °С в течение 15, 25 и 35 ч. Для обеих пород выявлено большее влияние термообработки на коэффициент теплопроводности, чем на изменение плотности. Для указанных режимов термического модифицирования плотность древесины тополя снизилась на 9,1–13,4 %, коэффициент теплопроводности — на 16,9–25,4 %, величина равновесной влажности уменьшилась до 6,8–5,9 %. Древесина ели является более устойчивой к термической обработке: снижение

плотности составило 5,2–8,7 %, коэффициента теплопроводности — 7,4–22,0 %, величина равновесной влажности уменьшилась до 8,0–6,6 %. Полученные результаты следует учитывать при использовании термомодифицированной древесины тополя и ели в зданиях и сооружениях в качестве ограждающих конструкций.

*Представленная работа выполнена в рамках проекта «Sustainable Raw Material Management Thematic Network — RING 2017», EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Szechenyi 2020 Program. Реализация данного проекта осуществляется при финансовой поддержке Европейского Союза (European Union) и совместном финансировании со стороны Европейского Социального Фонда (European Social Fund).*

## Список литературы

- [1] Candelier K., Thevenon M.F., Petrissans A., Dumarcay S., Gerardin P., Petrissans M. Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review // *Annals of Forest Science*, 2016, no. 73(3), pp. 571–583.
- [2] Kocaefe D., Huang X., Kocaefe Y. Dimensional Stabilization of Wood // *Current Forestry Reports*, 2015, no. 1(3), pp. 151–161.
- [3] Molnar A., Horvath N., Taschner R. The effect of dry heat treatment on physical properties of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* from Vietnam // *Proc. of the Hardwood Science and Technology. The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe*, Sopron, Hungary, 2012, pp. 37–382.
- [4] Шуханьова И., Горбачева Г.А. Влагопоглощение термомодифицированной древесины бука лесного (*Fagussylvatica*L.) // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2012. № 2(85). С. 159–161.
- [5] Bekhta P., Niemz P. Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood // *Holzforchung*, 2003, no. 57(5), pp. 539–546.
- [6] Esteves B.M., Pereira H.M. Wood Modification By Heat Treatment: a review // *BioResources*, 2009, no. 4(1), pp. 370–404.
- [7] Samuel O.S., Ramon B.O., Johnson Y.O. Thermal conductivity of three different wood products of *Combretaceae* family; *Terminalia superb*, *Terminalia ivorensis* and *Quisqualis indica* // *J. of Natural Sciences Research*, 2012, no. 2(4), pp. 36–43.
- [8] Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç. Gurău L. The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method // *ProLigno*, 2013, no. 9(4), pp. 649–683.
- [9] Brombacher V., Michel F., Scheiding W., Uribe M.T., Niemz P. Investigation of the influence of subsequent thermal treatment on the insulation characteristics of wood fibre // *Bauphysik*, 2017, no. 39(2), pp. 130–134.
- [10] Kol Ş.H., Sefil Y. The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212 °C // *J. of Applied Polymer Science*, 2011, no. 121(4), pp. 2473–2480.
- [11] Isebrands J.G. *Poplars and willows: trees for society and the environment*/ Ed. J.G. Isebrands, J. Richardson. Rome, Italy; Boston, MA: Food and Agriculture Organization of the United Nations: CABI, 2014. 634 p.
- [12] Gorbacheva G.A., Bazhenov A.V., Sanaev V.G., Suchanova I. FTIR-Study of Thermally Treated Beech Wood // *Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products»*. Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 592–598.
- [13] Hill C.A.S. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester, West Sussex: Wiley, England, 2006. 260 p.

## Сведения об авторах

**Пастори Золтан** — директор Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

**Хорват Норберт** — доцент Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, horvath.norbert@uni-sopron.hu

**Борчок Золтан** — исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

**Санаев Виктор Георгиевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), директор Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, rector@mgul.ac.ru

**Горбачева Галина Александровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@bmsu.ru

Поступила в редакцию 10.12.2018.

Принята к публикации 21.01.2019.

## THERMAL CONDUCTIVITY CHANGE IN SPRUCE AND POPLAR WOOD AFTER HEAT TREATMENT

Z. Pásztor<sup>1</sup>, N. Horváth<sup>1</sup>, Z. Börcsök<sup>1</sup>, V.G. Sanaev<sup>2</sup>, G.A. Gorbacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Sopron, Innovation Center, 4, Bajcsy-Zsilinszky utca, 9400, Sopron, Hungary

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Wood modification is one of the developing research directions of wood sciences in the last decades. As the heat-treated wood is used in buildings as boundary structures such as wall elements, windows, roofing and cladding, it is important to know the thermal properties of wood. Despite a significant number of works in the thermal modification area there are relatively few articles about the changes of the thermal conductivity of wood caused by heat treatment. The thermal conductivity of Pannónia poplar (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*) and spruce (*Picea abies*) were examined before and after heat treatment (at 180 °C, for 15, 25 and 35 hours). It is known that heat treatment affects the wood physical properties, including the density and thermal conductivity. The density of poplar decreased by 9.1, 12.1 and 13.4 %, and the thermal conductivity decreased by 16.9, 24.0, 25.4 % after 15, 25 and 35 hours of treatment, respectively. In case of spruce, the density decreased by 5.2, 7.6 and 8.7 %, and the heat conductivity by 7.4, 11.5 and 22.0 %, respectively. Beside these changes of density and thermal conductivity the equilibrium moisture content was also strongly affected according to the duration time of treatment. The equilibrium moisture content of samples after treatment of 15, 25 and 35 hours was 6.8, 6.0 and 5.9 % in case of poplar and 8.0, 7.2 and 6.6 % in case of spruce respectively. The changes are not linear with the duration time of treatment.

**Keywords:** thermal conductivity, heat treatment, wood modification, Thermowood

**Suggested citation:** Pásztor Z., Horváth N., Börcsök Z., Sanaev V.G., Gorbacheva G.A. *Izmenenie teploprovodnosti drevesiny eli i topolya pri termicheskoj obrabotke* [Thermal conductivity change in spruce and poplar wood after heat treatment]. *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 95–100.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-95-100

### Acknowledgement

The work was carried out as part of the «Sustainable Raw Material Management Thematic Network — RING 2017», EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Szechenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

### References

- [1] Candelier K., Thevenon M.F., Petrisans A., Dumarcay S., Gerardin P., Petrisans M. Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review. *Annals of Forest Science*, 2016, no. 73(3), pp. 571–583.
- [2] Kocaefe D., Huang X., Kocaefe Y. Dimensional Stabilization of Wood. *Current Forestry Reports*, 2015, no. 1(3), pp. 151–161.
- [3] Molnar A., Horvath N., Taschner R. The effect of dry heat treatment on physical properties of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* from Vietnam. *Proc. of the Hardwood Science and Technology. The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe*, Sopron, Hungary, 2012, pp. 37–382.
- [4] Shuhan'ova I., Gorbacheva G.A. *Vlagopogloshchenie termomodificirovannoj drevesiny buka lesnogo (Fagus sylvatica L.)* [The sorption of thermal treated of beech wood (*Fagus sylvatica* L.)]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik]. 2012. № 2(85). pp. 159–161.
- [5] Bekhta P., Niemz P. Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. *Holzforschung*, 2003, no. 57(5), pp. 539–546.
- [6] Esteves B.M., Pereira H.M. Wood Modification By Heat Treatment: a review. *BioResources*, 2009, no. 4(1), pp. 370–404.
- [7] Samuel O.S., Ramon B.O., Johnson Y.O. Thermal conductivity of three different wood products of *Combretaceae* family; *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis* and *Quisqualis indica*. *J. of Natural Sciences Research*, 2012, no. 2(4), pp. 36–43.
- [8] Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç. Gurău L. The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method. *ProLigno*, 2013, no. 9(4), pp. 649–683.
- [9] Brombacher V., Michel F., Scheiding W., Uribe M.T., Niemz P. Investigation of the influence of subsequent thermal treatment on the insulation characteristics of wood fibre. *Bauphysik*, 2017, no. 39(2), pp. 130–134.
- [10] Kol Ş.H., Sefil Y. The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C. *J. of Applied Polymer Science*, 2011, no. 121(4), pp. 2473–2480.
- [11] Isebrands J.G. *Poplars and willows: trees for society and the environment*. Ed. J.G. Isebrands, J. Richardson. Rome, Italy; Boston, MA: Food and Agriculture Organization of the United Nations : CABI, 2014, 634 p.
- [12] Gorbacheva G.A., Bazhenov A.V., Sanaev V.G., Suchanova I. FTIR-Study of Thermally Treated Beech Wood. *Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products»*. Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 592–598.
- [13] Hill C.A.S. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester, West Sussex: Wiley, England, 2006, 260 p.

## Authors' information

**Pásztory Zoltán** — PhD, Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

**Horváth Norbert** — PhD, Associate Professor, University of Sopron, Sopron, Hungary, horvath.norbert@uni-sopron.hu

**Zoltán Börcsök** — PhD, Researcher of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

**Sanaev Victor Georgievich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), Director of BMSTU (Mytishchi branch), rector@mgul.ac.ru

**Gorbacheva Galina Aleksandrovna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@bmstu.ru

Received 10.12.2018.

Accepted for publication 21.01.2019.