

## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-17-0456**

**Termická modifikácia dreva sýtou vodnou parou za účelom cielenej a stabilnej zmeny farby drevnej hmoty.**

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ladislav Dzurenda, PhD.**

Príjemca

**Technická univerzita vo Zvolene - Drevárska fakulta**

### **Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený**

Drevárska fakulta  
Technická univerzita vo Zvolene  
T.G. Masaryka 24  
960 01 Zvolen

VIVO a.s.  
Gen. Svobodu 1069/4  
958 01 Partizánske

### **Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení**

Univerzita Tomaše Bati ve Zlíně, Česká republika. Počas riešenia projektu bola spolupráca na vývoji prípravku na zníženie emisií formaldehydu.

### **Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu**

Úžitkové vzory v zahraničí:

Pôvodca: Matyašovský, J., Jurkovič, P., Duchovič, P. 2021: Přípravek na snížení emisí formaldehydu výrobku dřevařského průmyslu. Užitný vzor, č. 35612, Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika, 30. 11. 2021- 9 s. Spôsob prístupu:  
[https://isdv.upv.cz/doc/vestnik/2021/vestnik\\_UPV\\_202149.pdf](https://isdv.upv.cz/doc/vestnik/2021/vestnik_UPV_202149.pdf)

Úžitkové vzory v SR:

Pôvodca: Šustek, J. 2022: Dekoračná stena z farebne modifikovaného pareného dreva: Číslo prihlášky PD 69-2022. Dátum podania prihlášky: 12.09.2022.

Pôvodca: Ján Matyašovský, Peter Jurkovič, Peter Duchovič. 2022: Prípravok na znižovanie emisií formaldehydu pri výrobkoch drevárskeho priemyslu: Číslo prihlášky 133-2022. Dátum podania prihlášky: 24.10.2022.

**Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uvedťte aj publikácie prijaté do tlače**

A Publikácie v zahraničných karentovaných časopisoch:

- 1) Kminiak, R., Dzurenda, L. (2019): Impact of sycamore maple thermal treatment on a granulometric composition of chips obtained due to processing on a CNC machining mentre. In Sustainability 2019,11,718; doi:10.3390/su11030718
- 2) Geffert, A., Geffertová, J., Dudiak, M. (2019): Direct method of measuring the pH value of wood. In Forests. 2019, 10 (10), 852; <https://doi.org/10.3390/f10100852>
- 3) Geffert, A., Geffertová, J., Vybohova, E., Dudiak, M. (2020): Impact of Steaming Mode on Chemical Characteristics and Colour of Birch Wood. In Forests. 2020,11(4),478; <https://doi.org/10.3390/f11040478>
- 4) Kminiak, R., Orlowski, A. K., Dzurenda, L., Chuchala, D., Banski, A. (2020): Effect of thermal treatment of birch wood by saturated water vapor on granulometric composition of chips from sawing and milling processes from the point of view of its processing to composites. In: Applied sciences. 2020,10(21),7545; <https://doi.org/10.3390/app10217545>
- 5) Dzurenda, L., Geffert, A., Geffertová, J., Dudiak, M. (2020): Evaluation of the process thermal treatment of maple wood saturated water steam in terms of change of pH and color of wood. In BioResources. 2020. 15(2): 2550-2559. DOI: 10.15376/biores.15.2. 2550-2559
- 6) Matyašovský, J., Sedliačík, J., Šimon, P., Novák, I., Jurkovič, P., Duchovič, P., Sedliačíková, M., Cibulková, Z., Mičušík, M., Kleinová, A. (2020): Antioxidation activity of cysteine and cystine prepared from sheep wool. In The journal of the American Leather Chemists Association. 2020. no. 5 , s. 166-175. ISSN 0002-9726.
- 7) Sedliačíková, M., Aláč, P., Moresová, M. (2020): How behavioral aspects influence the sustainable financial decisions of shareholders: an empirical study and proposal for a relevant decision-making concept. In Sustainability. 12 (12): 4813. <https://doi.org/10.3390/su12124813>
- 8) Dudiak, M., Dzurenda, L. (2021): Changes in the physical and chemical properties of alder wood in the process of thermal treatment with saturated water steam. In Coatings 2021, 8(11); doi: org/10.3390/coatings11080898
- 9) Vidholdová, Z., Slabejová, G. (2021): Colour stabilisation of surface of four thermally modified woods with saturated water vapour by finishes. In Polymers 2021 13(19): 3373. doi:10.3390/polym13193373
- 10) Delijski, N., Dzurenda, L., Angelski, D., Tumbarkova, N. (2021): Influence of selected factors on the duration and energy efficiency of autoclave steaming regimes of non-frozen prisms for veneer production. In Energies 14(21):7433; <https://doi.org/10.3390/en14217433>
- 11) Dudiak, M., Dzurenda, L., Kučerová, E. (2022) Effect of Sunlight on the Change in Color of Unsteamed and Steamed Beech Wood with Water SteamIn: In: Polymers 14(9), 1697, (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14091697>
- 12) Dzurenda,L., Dudiak, M., Výbohová.E. (2022): Influence of UV Radiation on the Color Change of the Surface of Steamed Maple Wood with Saturated Water Steam In: Polymers , 14(1),217. doi.org/10.3390/polym 14010217
- 13) Dzurenda, L. (2022): Range of Color Changes of Beech Wood in the Steaming Process.

In: BioResources. 17(1):1690-1702. DOI:10.15376/biores.17.1.1690-1702

B Významné publikácie v časopisoch registrovaných vo WOS a SCOPUS:

- 1) Dzurenda, L. (2018): Hues of Acer platanoides L. resulting from processes of thermal treatment with saturated steam. In Drewno (Wood) 61(202):165-176.  
[http/DOI: 10.12841/wood.1644-3985.241.11](http://DOI: 10.12841/wood.1644-3985.241.11)
- 2) Delijski, N., Dzurenda. L., Angelski, D., Tumbarkova, N. (2019): Computing the energy for warming up the prisms for veneer production during autoclave steaming with a limited power of the heat generator. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 61(1): 63-74. DOI: 10.17423/afx.2019.61.1.06
- 3) Banski, A., Dudiak, M. (2019): Dependence of color on the time and temperature of saturated water steam in the process of thermal modification of beech wood. In AIP Conf. Proc. 2118, 030003-1– 030003-5. 2019.
- 4) Dzurenda, L., Dudiak, M. (2020): The effect of the temperature of saturated water steam on the colour change of wood Acer pseudoplatanus L. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 62(1): 19-28.
- 5) Geffert, A., Geffertová, J., Výbohová, E. (2020): Surface changes of beech and pine wood under the influence of UV radiation. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 62(1): 5-18.
- 6) Novák, I., Kleinová, A., Janigová, I., Mičušk, M., Sedliačik, J., Šlouf, M., Bekhta, P., Matyašovský, J., Jurkovič, P. (2020): Properties of water steam-treated maple wood (Acer pseudoplatanus L.).In Wood research. 2020. 6: 865-876.
- 7) Sedliačiková, M., Stroková, Z., Klementová, J., Šatanová, A., Moresová, M. (2020): Impacts of behavioral aspects on financial decision-making of owners of woodworking and furniture manufacturing and trading enterprises. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen: vedecký časopis Drevárskej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene. 62(1): 165-176.
- 8) Dzurenda, L., Dudiak, M. (2021): Cross-correlation of color and acidity of wet beech wood in the process of thermal treatment with saturated steam. In Wood research 2021, 66(1); doi:org/10.37763/wr.1336-4561/66.1.105116
- 9) Dudiak, M. (2021): Modification of maple wood colour during the process of thermal treatment with saturated water steam. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 63(1):25 – 34. DOI: 10.17423/afx.2021.63.1.03
- 10) Delijski, N., Dzurenda, L., Niemz, P., Angelski, D., Tumbarkova, N. (2021): Computing the 2D temperature distribution in logs stored for a long time in an open warehouse in winter and during subsequent autoclave steaming. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 63(1): 49:62.
- 11) Novák, I., Sedliačik,J., Kleinová, A., Janigová, I., Mičušk, M., Bekhta, P., Šlouf, M., Matyašovský, J., Jurkovič, P. (2022): The effect of thermal treatment with saturated water steam on the properties of birch wood. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 64(1):5-14. (2022) DOI: 10.17423/afx.2022. 64.1.01.
- 12) Dzurenda, L , Dudiak, M.(2022): Colour Change of Steamed Alder Wood Caused by UV Radiation. In: Drvna Industrija 73(3):289-297. doi.org/10.5552/drwind.2022.0019
- 13) Dzurenda, L. (2022): Mode for hot air drying of steamed beech blanks while keeping the colours acquired in the steaming process. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 64(1):81-88. DOI: 10.17423/afx.2022.64.1.07
- 14) Dudiak M. (2022): The effect of sunlight on the change in color of native and steamed

maple wood with saturated water steam. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 64(1):59-68. DOI: 10.17423/afx.2022.64.1.05

15) Dzurenda, L., Dudiak, M.(2022): Effect of UV Radiation on Change in Color of Steamed Beech Wood. In: Wood Research 67(3):361-371. doi.org/10.37763/wr.1336-4561/67.3.361371

16) Vidholdová, Z., Slabejová, G. (2022): The decay resistance of four hydrothermally treated hardwood species In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 64(2):17-27. DOI: 10.17423/afx.2022.64.2.02

17) Adamčík, L., Kminiak, R., Banski, A. (2022): .The effect of thermal modification of beech wood on the quality of milled surface In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 64(2):57-67.(2022) DOI: 10.17423/afx.2022.64.2.06

C Publikácie v domácich a zahraničných recenzovaných časopisoch a zborníkoch z konfencii:

1) Samešová, D., Dzurenda, L., Jurkovič, P (2018): Kontaminácia kondenzátu produktmi hydrolyzy a extrakcie z tepelného spracovania bukového a javorového dreva pri modifikácii farby. In Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 11(1): 277-282. ISSN 1339 – 8350 (online).

2) Dzurenda, L., Dudiak, M.(2019): The effect of the time and temperature of saturated water steam on the acidity anlour in the process of thermal modification of silver birch wood colour. In WOOD TECHNOLOGY PRODUCT DESIGN. 8(1):290 – 298. ISSN 1857 - 8381 (print).

3) Matyašovský, J., Sedliačik, J., Bekhta, P., Duchovič, P., Jurkovič, P.(2019): Keratin as environmentally friendly natural polymer for antimicrobial conservation of and reducing formaldehyde emissions from wood-based panels. In Wood - science – economy.:

4) Dzurenda, L., Dudiak, M., Banski A.(2020):Influence of UV radiation on color stability of natural and thermally treated maple wood with saturated water steam. In Innovations in woodworking and engineering design. 9(1): 36–41. ISSN 1314 - 6149.

5) Geffert, A., Geffertová,J., Dudiak. M. (2020) Comparison of the influence of steaming time and temperature on selected characteristics of birch and alder wood. In: Chip and chipless woodworking processes, 12(1): 57 – 64. ISSN 2453-904X (print).

6) Slabejová, G., Šmidriaková, M. (2020): Colour of thermally modified wood finished with transparent coatings. In : Chip and chipless woodworking processes, 12(1): 97-102. ISSN 2453-904X (print).

7) Dzurenda, L., Dudiak, M. (2020): Changes in wood tree species *Fagus sylvatica* L. and characteristics of the thermal process of modifying its color with saturated water steam. In Advances in ecological and environmental research. 5(4): 142-156. ISSN 2517-9454.

8) Matyašovský, J., Jurkovič, P., Duchovič, P., Novák, I. (2020): Keratin – natural polymer for reducing formaldehyde emissions from wood-based panels [abstract of poster]. Grants No. APVV-17-0456: In Czech Chemical Society symposium series. 18(3): 188. ISSN 2336-7202.

9) Banski, A., Dudiak, M.(2020): Energetická náročnosť procesu teplovzdušného suše-nia brezových vlysov v komorových sušiarňach bez zmeny farby dreva. In Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva. 12(1): 15-19.. ISSN 1339 – 8350 (online).

10) Dzurenda, L (2021):Mode for hot air drying of alder blanks that retain the colour

acquired during the steaming process. In Annals of WULS - SGGW. Forestry and Wood Technology 2021; 114: 86-91; DOI: 10.5604/01.3001.0015.2379

- 11) Slabejová, G., Šmidriaková, G. (2021): Colour stability of surface finishes on thermally modified beech wood. In Annals of WULS - SGGW. Forestry and Wood Technology 2021; 114: 116-124; DOI: 10.5604/01.3001.0015.2391
- 12) Dzurenda, L (2022): Granulometric Composition of Chip from the Process of Machining Steamed and Unmammed Beech Wood on the CNC Machining Center. In: Chip and Chipless Woodworking Processes, 13(1):129–136, ISSN 2453-904X (print).
- 13) Jurkovič, P., Sedliačik, J., Novák, I., Matyašovský, J., Kleinová, A. (2022): Study of maple wood modified by saturated water steam. In: Chip and Chipless Woodworking Processes, 13(1):147–150. ISSN 2453-904X (print).
- 14) Rajko, L., Koleda, P., Barcík, Š., Goglia, V. (2022): Effect of hydrothermal treatment on surface quality of beech wood after plane milling. In: Chip and Chipless Woodworking Processes, 13(1):175–181. ISSN 2453-904X (print).

D Vedecká monografia v zahraničí:

- 1) Novák, I., Kleinová, A., Matyašovský, J., Jurkovič, P., Duchovič, V., Valachová, K., Šoltes, L. Investigation of Wood Surfaces Modification by Radio-Frequency Plasma. In Research Methodologies and Practical Applications of Chemistry. Hard ISBN: 9781771887847 p. 271-279 In Production Pub Date: October 2019 Hardback info Hard ISBN: 9781771887847, Pages: Approx. 298p w/index Binding Type: Hardback Series: Innovations in Physical Chemistry: Monograph Series, Notes: 10 color and 67 b/w illustrations.

E Vedecké monografie v SR:

- 1) Dzurenda, L., Dudiak, M. Modifikácia farby dreva v procese parenia sýtou vodnou parou. Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, , 8,3 AH, 120 s, ISBN 978-80-228-3318-9.

## Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky riešenia projektu sú uplatnitelné, ako vo vedeckej oblasti, tak i výrobnej praxi:

1) Uplatnenie výsledkov projektu vo vedeckej oblasti:

- a) Prehĺbenie poznania v oblasti fyzikálno-chemických zmien dreva v procese parenia dreva listnatých drevín sýtou vodnou parou v intervale teplôt  $t = 105 – 135^{\circ}\text{C}$ , analyzovaním vplyvu hydrolýzy hemicelulóz a amorfnej časti celulózy na zmenu acidity dreva, ktorou sú iniciované zmeny v chromoformnom systéme dreva prejavujúce sa zmenou farby dreva.
- b) Obohatenie súčasného stavu poznatkov o zmenách v chromoformnom systéme dreva vyvolaných procesom parenia a ich vplyv na znižovanie fotochemických aktivít povrchu pareného dreva s UV žiareniom vyvolávajúce stmavnutie a zhnednutie dreva.

2) Uplatnitelnosť výsledkov projektu vo výrobnej praxi:

- a) Overená technológia režimov termickej modifikácie dreva sýtou vodnou parou za účelom zmeny farby dreva listnatých drevín (Buk lesný, Breza previsnutá, Javor horský a Jelša lepkavá) do netradičných farebných odtieňoch od bledej hnedo-ružovo-žltej farby po tmavú hnedo-sivú farbu. Obohatenie domáceho trhu a možnosti exportu sortimentov dreva daných

drevín vo forme reziva a prírezov v nových farebných odtieňoch. Rovnomerné sfarbenie termicky modifikovaného dreva po celom objeme pri zachovaní si pôvodných mechanických a konštrukčných vlastnostach dreva rozširuje možnosti využitia pareného dreva v konštrukčno-umeleckej a dizajlovej oblasti. Uvedená technológia je zavedená vo firme Sundermann s.r.o. pracovisko Banská Štiavnica.

b) Overená technológia nízkoteplotných režimov sušenia termicky modifikovaného dreva parením bez následnej zmeny farby dreva dosiahnutej procesom parenia umožňuje vysušiť farebne termicky modifikované drevo na izbo-suchú vlhkosť dreva bez dodatočnej zmeny farby dreva procesom sušenia. Navrhnuté nízkoteplotné režimy sa od klasických teplovzdušných režimov sušenia dreva sa líšia v tom, že teplotné podmienky pre odparovanie vody voľnej z dreva do vlhkosti  $w = 30\%$  sú realizované pri teplote vzduchu v sušiarni  $t \leq 45^{\circ}\text{C}$  čím je zabránená iniciácia chemických reakcií v mokrom dreve vyvolávajúce zmeny chromoformného systému dreva.

c) Používanie polykondenzačných UF živíc modifikovaných aditívom na báze bio polyméru „keratínu“ na lepenie termicky modifikovaného dreva sa znížuje produkcia emisií vo forme uvoľňovania voľného formaldehydu z výrobkov lepeného dreva a do priestorov interiérov. Testami bolo preukázané, že kým pokles pH termicky modifikovaného dreva má malý negatívny vplyv na nárast emisií formaldehydu z lepeného dreva lepeného klasickými polykondenzačnými UF živicami, tak polykondenzačná UF živica modifikovaná keratínom znížuje uvoľňovanie formaldehydu z lepeného termicky modifikovaného dreva o 40 %.

d) Nadobudnuté poznatky o fyzikálno-chemických zmenách dreva listnatých drevín: Buk lesný, Breza previsnutá, Javor horský a Jelša lepkavá a ich aplikovaní do návrhu overených technológií v drevárskom priemysle sa premietajú i do inovácií obsahu predmetov: Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva, Lepidlá a lepenie a Povrchová úprava dreva, ktoré sú vyučované na Drevárskej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Zámerom riešenia projektu APVV-17-0456 bol návrh technológie modifikácie farby dreva – parením listnatých drevín (Buk lesný, Javor horský, Breza previsnutá, Jelša lepkavá) do netradičných farebných odtieňov. Navrhnutá a verifikovaná technológia celo-objemovej modifikácie farby dreva s následný nízkoteplotným sušením na vlhkosť 8 - 12 %, rozširuje konštruktérom a dizajnérom možnosti využívanie tejto domácej obnoviteľnej suroviny na zvýšenie farebnej pestrosti stavebno-stolárskych výrobkov a 3D umeleckých predmetov. Farby dreva jednotlivých drevín nadobudnuté navrhnutými režimami parenia sú identifikované súradnicami: svetlosti  $L^*$ , červenej farby  $a^*$  a žltej farby  $b^*$  vo farebnom priestore CIE  $L^*a^*b^*$ .

Výskum fyzikálno-chemických zmien dreva iniciovaný hydrolyzou hemicelulóz a amorfnej časti celulózy v procese parenia rozšíril súčasné poznanie o závislosti zmeny acidity (pH) dreva, celkovej farebnej diferencie  $\Delta E^*$  a miery stmavnutia a zhnednutia dreva prostredníctvom zmien vyjadrených vo farebnom priestore CIE  $L^*a^*b^*$  pareného dreva v intervale teplôt  $t = 105 - 135^{\circ}\text{C}$  a čase  $\tau = 3 - 12$  hod.

Uvedeným výskumom bola stanovená, ako závislosť deštrukcie chromofórneho systému dreva iniciovaného produktmi hydrolyzy reagujúcimi s bočnými reťazcami lignínovej makromolekuly za tvorby chinínových štruktúr, tak aj prínos rozpadu chromofórneho systému dreva parením voči pôsobeniu UV žiarenia vyvolávajúce fotochemické reakcie dreva v procesoch prirodzeného starnutia dreva.

Skúšky lepenia pareného dreva s polykondenzačnou UV živicou modifikovanou keratínom preukázali, pokles úniku voľného formaldehydu z vytvrdnutého lepidla pri zachovaní si

požadovaných fyzikálno-mechanických parametrov lepeného pareného dreva.

**Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku  
(max. 20 riadkov)**

The aim of the APVV-17-0456 project was to propose a wood color modification technology - steaming deciduous trees (Beech, Maple, Birch and Alder) into non-traditional color shades. The designed and verified technology of whole-volume wood color modification followed by low-temperature drying to a moisture content of 8-12% expands the possibilities for constructors and designers to use this domestic renewable raw material to increase the color variety of construction and carpentry products and 3D art objects.

The wood colors of individual wood species acquired by the proposed steaming modes are identified by the lightness coordinate  $L^*$  and the chromatic coordinates  $a^*$  and  $b^*$  in the CIE color space  $L^*a^*b^*$ .

Research into the physico-chemical changes in wood initiated by the hydrolysis of hemicelluloses and the amorphous part of cellulose in the steaming process has expanded the current knowledge about the dependence of changes in the acidity (pH) of wood, the total color difference  $\Delta E^*$  and the degree of darkening and browning of wood through changes in the values of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  in the temperature interval  $t = 105 - 135$  °C and the length of the steaming process  $\tau = 3 - 12$  hours.

The aforementioned research determined both the dependence of the destruction of the chromophoric system of wood initiated by hydrolysis products reacting with the side chains of the lignin macromolecule to form quinine structures, as well as the contribution of the decay of the chromophoric system of wood in the steaming process to the action of UV radiation inducing photochemical reactions of wood in the processes of natural aging of wood.

Tests of gluing steamed wood with keratin-modified polycondensation UV resin showed a decrease in the leakage of free formaldehyde from the hardened glue while maintaining the required physical and mechanical parameters of glued steamed wood.