

Wersja drukowana: ISSN 0209-2190

Wersja online: ISSN 2657-8484

# BIULETYN INFORMACYJNY

## OŚRODKA BADAWCZO-ROZWOJOWEGO

### PRZEMYSŁU PŁYT DREWNOPOCHODNYCH

#### w Czarnej Wodzie

3-4/2025



# ***Biuletyn Informacyjny***

*Ośrodka Badawczo-Rozwojowego  
Przemysłu Płyt Drewnopochodnych sp. z o.o.  
w Czarnej Wodzie*

**3 - 4  
2025**

**Biuletyn Informacyjny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie** jest czasopismem wydawanym w cyklu półrocznym. Zamieszczane są w nim opracowania dotyczące istotnych dla przemysłu płyt drewnopochodnych zagadnień z praktycznego i naukowego punktu widzenia. Wszystkie publikowane artykuły naukowe są recenzowane. Archiwalne numery czasopisma są dostępne w bibliotece OB-RPPD Sp. z o.o. w Czarnej Wodzie lub na stronie internetowej <http://biuletyn.online>.

**Obszary badawcze czasopisma:** drzewnictwo, tworzywa drewnopochodne, tworzywa kompozytowe WPC, budownictwo z drewna, materiały drewnopochodne dla meblarstwa, obróbka materiałów drzewnych

© Copyright by OB-RPPD w Czarnej Wodzie, Czarna Woda 2025

Utwór w całości, ani we fragmentach nie może być powielany, ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

All rights reserved. No part of this journal may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any storage retrieval system, without permission from the Publisher.

#### **Rada Naukowa / Scientific Board:**

- prof. Pavlo Bekhta, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine
- prof. Vlado Goglia, University of Zagreb, Zagreb, Croatia
- dr hab. inż. Grzegorz Kowaluk, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, Polska
- prof. Ján Sedliačik, Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia
- dr. hab. Zbigniew Werner, Honorowy Członek Rady Naukowej, Polska
- dr inż. Jacek Wilkowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, Polska
- dr hab. inż. Piotr Borysiuk, prof. SGGW, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, Polska
- dr hab. inż. Piotr Boruszewski, prof. SGGW, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, Polska
- dr inż. Marek Barlak, Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku, Otwock, Polska
- dr hab. Tomasz Rogoziński, prof. UPP, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań, Polska
- dr hab. Maciej Sydor, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań, Polska
- dr inż. Radosław Auriga, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, Polska

#### **Zespół Redakcyjny / Editorial Group:**

- prof. dr hab. Mariusz Mamiński - Redaktor Naczelny

#### Wersja drukowana: ISSN 0209-2190

- Leszek Danecki
- Maria Ostrowska
- Marek Jekielek

#### Wersja online: ISSN 2657-8484

- Jacek Wilkowski
- Marek Barlak
- Radosław Auriga

#### **Wydawca / Publisher:**

OB-RPPD w Czarnej Wodzie  
ul. A. Mickiewicza 10a, 83-262 Czarna Woda, Polska  
[www.obrppd.com.pl](http://www.obrppd.com.pl), [obrppd@obrppd.com.pl](mailto:obrppd@obrppd.com.pl)

## SPIS TREŚCI

I. Artykuły naukowe.....	65
Contact drying of birch wood using different drying pressures.....	65
Kinetics of drying beech wood contain red false heartwood .....	75
Analysis of shape changes during different stages of air drying at the hornbeam ( <i>Carpinus Betulus</i> L.) .....	87
Effect of grain direction on particle size distribution during sanding of spruce, beech and oak wood.....	99
II. Z żałobnej karty .....	109
III. Statystyka .....	113
IV. Konferencje, zebrania, wydarzenia .....	122





## Contact drying of birch wood using different drying pressures

Ivan Klement<sup>a,\*</sup>, ORCID: 0000-0003-3349-0125  
Tatiana Vilkovská<sup>a</sup>, ORCID: 0000-0001-7406-2325  
Peter Vilkovský<sup>a</sup>, ORCID: 0000-0002-2832-4619  
Jacek Barański<sup>b</sup>, ORCID: 0000-0001-9040-9181  
Aleksandra Suchta<sup>c</sup>, ORCID: 0000-0003-0733-249X

<sup>a</sup>Department of Wood Technology, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, Slovakia; [klement@tuzvo.sk](mailto:klement@tuzvo.sk); [tatiana.vilkovska@tuzvo.sk](mailto:tatiana.vilkovska@tuzvo.sk); [peter.vilkovsky@tuzvo.sk](mailto:peter.vilkovsky@tuzvo.sk)

<sup>b</sup>University of Technology, Poland Institute of Energy, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Gdansk University of Technology, Poland; [jbaransk@pg.edu.pl](mailto:jbaransk@pg.edu.pl)

<sup>c</sup>Institute of Manufacturing and Materials Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Gdansk; [aleksandra.suchta@pg.edu.pl](mailto:aleksandra.suchta@pg.edu.pl)

\*Corresponding author: [tatiana.vilkovska@tuzvo.sk](mailto:tatiana.vilkovska@tuzvo.sk)

---

### Abstract

Research on the drying conditions of birch wood reveals that different drying methods can have a significant impact on its properties and overall quality. Birch, a wood species valued for its unique characteristics, including strength, flexibility, and aesthetic appeal, is highly suitable for a wide range of applications in industry. However, the drying process plays a critical role in determining the final quality, dimensional stability, and usability of the wood. As such, understanding the drying behaviour of birch wood is necessary for optimizing drying techniques, preserving its desirable properties, and ensuring its suitability for various products. One particularly interesting drying method is contact drying, which offers reduced drying times and lower heat consumption compared to traditional drying techniques. In this study, experimental samples were prepared from birch logs. The moisture content, moisture gradient, residual stresses, and density were measured, and drying was conducted under various pressures of 1.0 MPa, 1.4 MPa, and 1.8 MPa, with a drying temperature of 170°C. The results indicated that higher pressures led to an increased final moisture content, and substantial dimensional changes were observed during the drying process. Remarkably, the density of the wood increased by 13.03% to 19.55%, depending on the applied pressure. The study concluded that the optimal pressure for contact drying of birch wood is between 1.4 MPa and 1.8 MPa.

**Keywords:** contact drying, press drying of wood, birch wood, hardwood

## Introduction

Wood drying is a crucial technological operation in the production process of high-quality wood products, where an improperly chosen or uncontrolled method can lead to a significant reduction in the material's utility value. Birch (*Betula* spp.) accounts for 6.6% of Europe's forests, with its share in Slovakia's total forest cover reaching just under 2% (State of Europe's Forests 2020). In the case of birch wood, which is characterized by its light colour, fine texture, and favourable strength-to-density ratio, the correct drying method is critical for preserving both its aesthetic and mechanical properties. In the wood processing industry, the most commonly used methods are conventional kiln drying and vacuum drying, which allow for better control of the drying process and reduce the risk of discoloration or cracking. Birch wood has the advantage of drying relatively quickly to the fibre saturation point (FSP), thus shortening the overall processing time and reducing energy costs.

However, it is sensitive to high initial moisture content, which can cause internal stresses and cracks due to uneven moisture movement. Despite this, its good bending ability and high dimensional stability after proper drying make it an ideal material for the production of furniture, flooring, design elements, and musical instruments. Birch drying can be carried out in various ways, including conventional hot-air drying, high-temperature drying, or even by press (compression) drying. Based on the cited work Möttönen and Luostarinen (2004), Elustondo et al. 2023 shows, that high temperature drying (>100°C) is successfully used for American white birch (*Betula papyrifera*) (Erickson et al. 1984, Larson et al. 1986), but the preliminary results with sawn birch timber in Finland, especially concerning the wood colour, have been inconsistent. Typically, high temperature drying of birch produces strongly red-coloured wood material because of the steaming used to transfer the heat to wood and prevent the casehardening of sawn timber. Steaming is typically used for the colour control with hardwoods, e.g., with beech and walnut (Burtin et al. 2000), giving a reddish colour for the dried wood, but it is not a usable method with sawn birch timber due to the uneven and glaring colour of the end product. It is also shown in cited work Elustondo et al. 2023 an application of high temperature drying is the press drying method, where the sawn timber is, in modern applications, compressed between perforated aluminium plates during the drying process at high temperature to keep the timber straight. The heartwood of some species of wood tends to darken and develop checks and honeycomb during press drying. For many applications, these defects may not adversely affect the lumber. In fact, the darker colour is often more appealing than the original colour (Larson 1986). In this paper of authors Burtin et al. 2000, the term press drying also known as contact drying is defined as the application of heat to both faces of a board through heated platens, thereby enabling the removal of moisture from the wood. Due to the compression applied during drying, the sawn timber remains straight and exhibits increased density, particularly in the surface layers of the boards. This results in improved surface hardness, enhanced strength, and material savings of 15-20%. With high-temperature drying, sawn birch timber can be dried within a single day (Burtin et al. 2000). Hittemeier et al. (1968) in their article evaluated the effect

of press drying on wood. Certain properties of the press-dried specimens were examined and compared with the corresponding properties of specimens dried in traditional hot-air kilns according to standard drying schedules, as well as with the properties of specimens subjected to press steaming. In general, the strength values of the press-dried specimens, which exhibited no significant cracking or structural damage, were similar or very close to those of the specimens dried in conventional kiln dryers. This applied to all wood species except for rosewood, white oak, and post oak. The conclusion was that short exposure to elevated temperatures did not negatively affect the strength of the press dried material.

### **Aim and scope of work**

The aim of this experiment is to evaluate the effects of different specific pressures (1.0 MPa, 1.4 MPa, and 1.8 MPa) applied by heating platens on the drying process of birch wood at a drying temperature of 170°C. The outcomes of this experiment will provide insights into the impact of pressing conditions and drying methods on the physical properties of birch wood, helping to optimize drying techniques for improved material quality.

### **Materials and Methods**

For the experimental work, birch logs with a diameter of 35 cm and a length of 4 meters were harvested from the forest area of the Forest Enterprise of the Technical University in Zvolen. Samples with dimensions of 24×80×1000 mm were cut from tangentially sawn timber, 30 pieces in total. In the centre of each test sample, smaller specimens were cut to determine the initial moisture content using the weight method, moisture gradient, residual stresses, and density. The samples were also cut to determine initial moisture content, moisture gradient and density as well. Initial MC and final MC of wood were determined using the gravimetric method according to STN EN 49 0103. The moisture content was calculated using Eq. 1.

$$MC = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100(\%) \quad (1)$$

where:  $m_w$  is the weight of the wet sample (g) and  $m_0$  is the weight of the absolute dry sample (g)

Oven-dried density was measured before and after contact drying. The measurement was performed under laboratory conditions. The density ( $\rho_0$ ) of wood at 0% moisture content was measured according to STN EN 49 0108. The oven-dried density was calculated using Eq. 2.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} \quad (2)$$

where:  $m_0$  is the weight of oven-dried moisture samples (kg) and  $V_0$  is the volume of oven-dried moisture samples ( $m^3$ ).

The measurement of moisture gradients was carried out separately for each wood species before the drying process as well as after the process itself (Eq. 3).

$$\Delta_w = w_s - \frac{\sum w_p}{2} \quad [\%] \quad (3)$$

where:  $\Delta_w$  - moisture gradient,  $w_s$  - moisture content centre,  $w_p$  - moisture content surface

Based on the validation experiments, the specific pressure of the heating platens was determined as  $p_1 = 1.0$  MPa,  $p_2 = 1.4$  MPa,  $p_3 = 1.8$  MPa, and the drying temperature was set at  $170^\circ\text{C}$ . Perforated aluminium plates were used in the experiment, which allowed for intensive evaporation of moisture from all surfaces, including those in contact with the plates. The drying process was both uninterrupted. During the uninterrupted drying process, the temperature of the wood was measured at three locations of the cross-section and in two positions. In the interrupted drying process, every 10 minutes, the moisture was determined using drying samples, along with the moisture gradient, casehardening, and wood density (in five layers of the cross-sectional slice). The results were evaluated at a moisture content of 8%. The experimental results are shown in graphs 1 to 6, which display data up to the final moisture content of 0%.

## Results and Discussion

The initial moisture content of the samples was  $60 \pm 0.5\%$ . The contact drying time at all plate pressures was 60 minutes, and after 40 minutes of drying, the moisture content of the samples was 5.5% at a plate pressure of 1.0 MPa, 4.2% at a specific plate pressure of 1.4 MPa, and 2.8% at a plate pressure of 1.8 MPa. The drying curves are shown in Fig. 1. Contact drying of wood is one of the very intensive drying processes and the drying curves are almost linear.

The intensifying factors here are the temperature and pressure of the heating plates on the dried material. As the pressure increases, the drying time decreases in the ratio 1:0.99:0.96. The drying time for the mentioned material dried by convection method was approximately 64 hours. Compared to the convective drying method, contact drying is interesting in terms of drying time, which is shorter by a factor of  $\sim 120$  times and therefore the heat consumption.

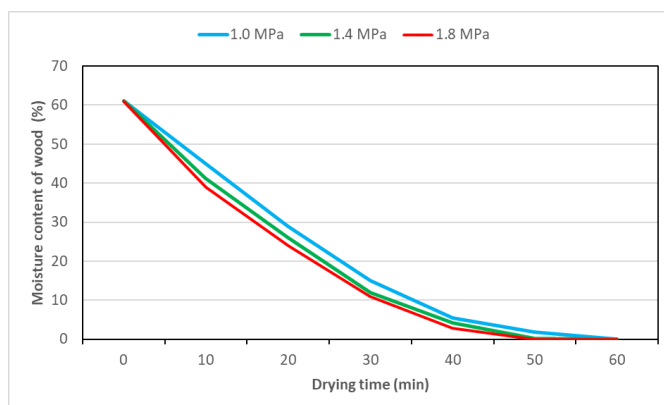


Fig. 1. Drying curves of contact drying with different specific pressures

The physical nature of the acceleration of the drying process with increased pressure of the heating plates on the dried material is explained by the reduction of its thickness, the increase of its density and thus the overall increase of the thermal conductivity of the wood (Trebula and Dekrét 1998). Measurements of moisture gradients were taken not only every 10 minutes at the beginning of drying, but also more frequently in the early stages of the process (after 5.5 and 7 minutes). The reason for this was to capture the maximum moisture gradients, which occur most rapidly in the first minutes of contact with the plate. The values of the moisture gradients in the contact drying process are shown in Fig. 2.

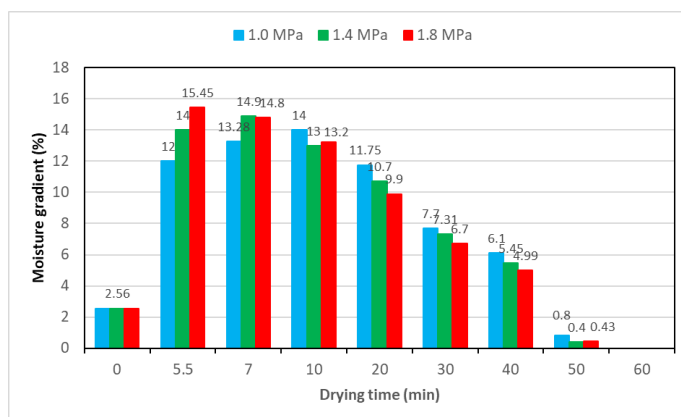
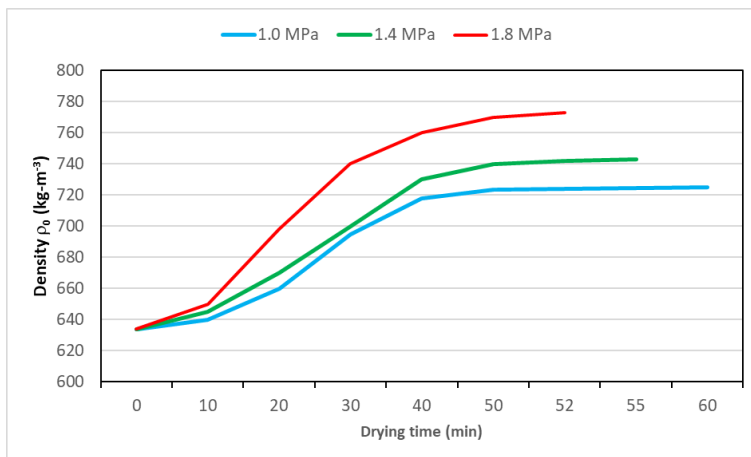


Fig. 2. Values of moisture gradients

At the start of the drying process, the moisture gradients increased noticeably and the effect of the pressure of the plates can be seen. The large initial values are due to the high evaporation of moisture from the surface of the samples in contact with the plates. As the plate pressure increased, the values of the moisture gradients also increased. The maximum values were measured within 7 minutes from the start of drying. This corresponds to the first section of the temperature progression in the samples (Fig. 6). After that, the

values decreased and in this section the plate pressure had the opposite effect. Almost zero values were after 50 minutes of drying.

The average initial density of the samples in the absolutely dry state was  $633.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . After contact drying, the total density increased (Fig. 3) as a function of pressure by 14.3%, 15.0% and 21.0%, respectively. The increase in wood density affects the thermal conductivity and thus the drying time (Trebula and Dekrét 1998), the strength properties and the hardness of the surface layers. In the drying process, the cross-section of the vessels undergoes plastic deformation so that the original circular cross-section of the vessels changes to an elliptical cross-section. In conventional drying, the deformation is much smaller. As also shown by Burtin et al. (2000) this results in improved surface hardness, enhanced strength, and material savings of 15-20%. With high-temperature drying, sawn birch timber can be dried within a single day.



**Fig. 3.** Changes densities during time of drying

The dimensional change of the dried samples during contact drying is shown in Figures 4 and 5. In the drying process, the dried material is under constant pressure, so that, in addition to drying, compaction also occurs. As the pressure of the plates on the dried material increases, the thickness (drying and compaction) decreases in the range of 3.75 to 4.2 mm on average (Fig. 4). The present observations are consistent with the author Blomberg et al. (2006) that, density after contact drying ranged from 700 to  $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  for beech wood specifically. As also shown by Jung et al. (1993) noticed that contact drying can affect the density of dried samples. The dimensional change in width was in the range of 1.25 to 0.8 mm (Fig. 5). The effect of plate pressure on the change in specimen dimensions (thickness, width) was insignificant.

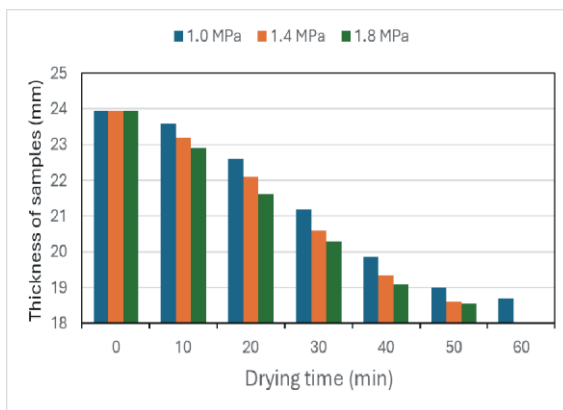


Fig. 4. Thickness change during drying time

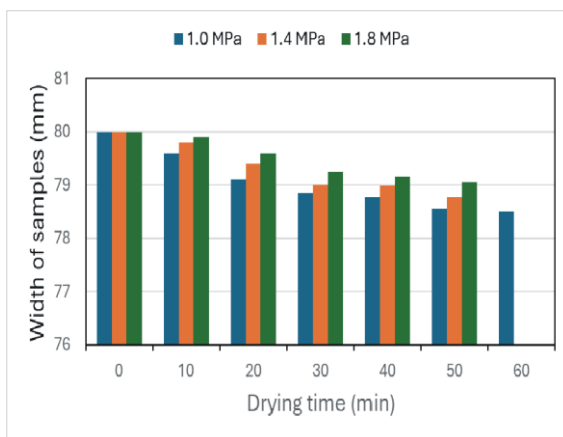


Fig. 5. Width changes during time

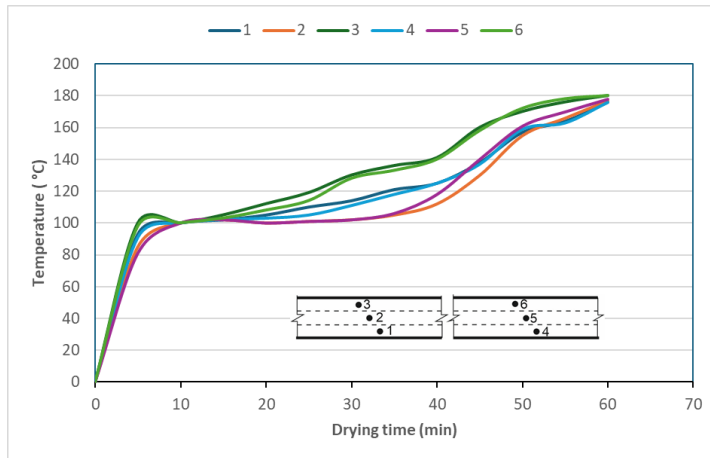
The temperature evolution in the wood up to complete drying at pressure  $p = 1.0$  MPa is shown in Fig. 6. The distribution and evolution of temperatures at pressures of 1.4 and 1.8 MPa are similar and the effect of pressure of the plates did not affect the temperature distribution in the dried samples.

The curves marked 1.4 and 3.6 are the temperature distributions in the surface layers of the wood and in two different positions. Curves 2 and 5 are the temperatures measured during drying in the middle layers.

The drying process in terms of temperature curves can be divided into three sections. The temperature rises rapidly and reaches a value of approximately  $100^{\circ}\text{C}$  in the first section, over the entire cross-section. This section ended when the temperature stabilised and began to follow a constant course.

The second section is characterised by a constant temperature over the entire cross-section of the samples. The differences between the temperature at the centre on the

surfaces of the samples are minimal. This was the shortest section, ending with the removal of free water from the inner layers of the wood.



**Fig. 6.** Course of the temperatures in wood ( $p = 1.0$  MPa)

In the third section, the temperature of the samples increases, with the surface layers heating more rapidly. The evaporation of bound water in the inner layers of the wood also begins. At the end of the drying process, the temperature difference across the cross-section of the wood becomes equal ( $t_s = t_d$ ) and the moisture gradient decreases.

A summary table 1 of basic statistical characteristics was created to verify the variability of width, thickness, and density measurements. When the density changed, an average of  $703 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  was recorded with relatively low variability. The change in thickness indicates very small differences between samples. At the same time, the evaluated use of different pressure levels showed a greater range, but their variability did not have a significant effect on the measured dimensional changes. Overall, the table confirms that the differences found between measurements are statistically insignificant.

**Table 1.** Basic statistical characteristics of changes density, thickness and width

Variable	N - number of measurements	Average value	Minimum value	Maximum value	Standard deviation
Change of density ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	24	703.0	633.8	773.0	46.1
Pressure (MPa)	24	93.6	1.0	103.0	28.5
Change of thickness (mm)	19	21.2	18.6	23.9	2.0
Pressure (MPa)	19	101.9	101.0	103.0	0.8
Change of width (mm)	24	79.2	78.5	80.0	0.5
Pressure (MPa)	24	1.4	1.0	1.8	0.3

## **Conclusions**

The aim of the work was to determine the effect of the pressure of the heating plates on the change of the average wood moisture content (drying curves), moisture gradients, change of dimensions and wood density in the process of contact drying. Birch specimens with a thickness of 24 mm and a tangential course of annual circles were used. Drying was carried out at a temperature of the heating plates of 170°C and specific pressures of 1.0 MPa, 1.4 MPa and 1.8 MPa. The following conclusions can be drawn from the measured data:

- Contact drying is a very intensive drying method and the drying curves were linear in character (moisture loss was directly proportional to time).
- The effect of pressure applied on drying time was significant and with increasing pressure the drying time became shorter.
- The values of the moisture gradients increased significantly in the first drying period.
- The effect of the pressure of the plates was similar to that of the drying time. Higher values of moisture gradients correspond to higher plate pressures. The maximum values of the moisture gradients were already measured after 5.5 minutes from the start of drying. During the second drying period, the moisture gradients decreased, and the effect of the plate pressure was reversed (higher values at lower pressure).
- The density of wood in the absolutely dry state increased between 14.3 and 21% depending on the pressure. The effect of pressure applied on the change in density was very significant and a positive effect on the mechanical properties of the wood can be assumed.
- The effect of the pressure of the plates on the change in the dimensions of the samples (thickness, width) was insignificant. The thickness of the samples decreased by 22.5% (5.39 mm) due to contact drying (drying and pressing). The change in the width of the samples was 1.8% (1.5 mm).
- The temperature history on the cross-section of the samples can be divided into three sections. The control of the drying process was made on the basis of the measured temperatures at the centre of the samples.

The results show a very positive effect of contact drying on the resulting drying time but also on the change in wood density. Contact drying is a specific drying method and research on the influence of drying conditions on the change of wood properties is important.

## **Acknowledgments**

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-21-0049 and work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences - project VEGA No. 1/0063/22.

## References

Burtin, P., Jay-Allemand, C., Charpentier, J.-P. Janin, G., 1998. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 × *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees*, 12, 258-264.

Blomberg, J., Persson, B. Bexell, U., 2006. Effects of semi-isostatic densification on anatomy and cell-shape recovery on soaking. *Holzforschung*, 60(3), 322-331. DOI: 10.1515/HF.2006.052.

Jung, S.H., Lee, H.N. Yeo, H., 1993. Press-drying of Plantation Softwood Lumber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 21(3).

Laurila, J., Havimo, M. Lauhanen, R., 2014. Compression drying of energy wood. *Fuel Processing Technology*, 124, 286-289. ISSN 0378-3820. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.03.016.

Möttönen, V., Luostarinen, K., 2004. Discolouration of sawn birch (*Betula pendula*) timber from plantation forests during drying: Effect of growing site, felling season and storage of logs on discolouration. *Baltic Forestry*, 10(2), 31-38.

Erickson, R.W., 1968. Drying of pre-frozen redwood, Fundamental and applied considerations. *Forest Products Journal*, 18(6), 49-56.

Larson, T.D., Erickson, R.W., Boone, R.S., 1986. Comparison of drying methods for paper birch SDR flitches and studs. Research Paper FPL 465. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 13.

Hittemeier, M.E., Comstock, G.L. Hann, R.A., 1968. Press drying nine species of wood. *Forest Products Journal*, 18(9), 91-96.

Elustondo, D., Matan, N., Langrish, T., Pang, S., 2023. *Advances in wood drying research and development*. Drying Technology, 1-25. Informa UK Limited. ISSN 0737-3937; 1532-2300. DOI: 10.1080/07373937.2023.2205530.

Trebula, P. Dekrét, A., 1998. Some problems with contact drying of wood. *Scientific studies/ K niektorým problémom kontaktného sušenia dreva. Vedecké štúdie* 12/1998/A. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 56. ISBN 80-228-0804-2.

Forest Europe, 2020. State of Europe's Forests 2020. Bratislava: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe - Forest Europe, Liaison Unit Bratislava. Dostupné na: <https://www.foresteuropa.org>

## List of standards

STN 490 108 (1993). "Wood. Determination of density" Slovak Standards Institute. Bratislava. Slovakia.

---

*Reviewed paper / Artykuł recenzowany*

*Submitted / Zgłoszony: 26.06.2025*

*Published online / Opublikowany online: 22.12.2025*



## Kinetics of drying beech wood contain red false heartwood

Patrik Halčín<sup>a</sup>, ORCID: 0009-0000-9759-5802  
Ivan Klement<sup>a</sup>, ORCID: 0000-0003-3349-0125  
Tatiana Vilkovská<sup>a,\*</sup>, ORCID: 0000-0001-7406-2325  
Peter Vilkovský<sup>a</sup>, ORCID: 0000-0002-2832-4619

<sup>a</sup>Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, 960 01 Zvolen, Slovakia

\*Corresponding author: [tatiana.vilkovska@tuzvo.sk](mailto:tatiana.vilkovska@tuzvo.sk)

---

### Abstract

The article was focused on analysing the differences in the drying of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) containing red false heartwood. The woodworking industry and, gradually, the construction sector in Slovakia have been increasingly oriented toward the greater utilization of beech wood as a primary raw material. The occurrence of false heartwood in beech significantly affected the quality of logs and sawn timber. It was necessary to determine the differences in drying between beech with red false heartwood and mature beech wood. The differences in drying kinetics during a two-stage convective drying process, moisture loss, moisture gradients, and density were analysed. From the measured values, differences in drying intensity between red false heartwood and mature beech wood were identified, which were caused by the altered structure of red false heartwood and changes in permeability to liquids and vapours. The moisture loss was higher in red false heartwood samples (0.187-0.189%/h) at moisture levels above the fiber saturation point (> 30%) compared to mature wood samples (0.135-0.145%/h). Below the fiber saturation point (< 30%), the moisture loss was lower (0.148-0.177%/h) in red false heartwood samples, while in mature wood samples, it either remained unchanged or increased (0.171-0.145%/h). Red false heartwood lost moisture faster and had lower final moisture content at the end of drying.

**Keywords:** mature wood, red false heartwood, air drying, kinetics of drying, beech wood

### Introduction

European beech (*Fagus sylvatica* L.) is the most widespread tree species in Slovakia and has a high representation across Europe (Straže, Žveplan 2022). This species exhibits numerous defects, such as red false heartwood, reaction wood, and others (Furst et al. 2006; Čunderlík et al. 2017). Generally, the formation of red false heartwood is associated

with a reduction in moisture content and the vitality of parenchyma cells (Kúdela, Čunderlík 2012; Barański et al. 2017). The occurrence of red false heartwood in beech significantly affects the quality of logs and sawn timber (Kudra et al. 2003; Delinsky 2005; Trenčiansky, Hansmann 2007; McDonald et al. 2010). Besides physical differences between beech wood with and without red false heartwood (Dzurenda, Dudiak, Kučerová 2023), they were also exhibit distinct drying properties (Marinescu et al. 2010; Barański et al. 2017). The final material quality was evaluated by Shahverdi et al. (2010), and it was reported by the authors to be influenced by the type of red false heartwood as well as the drying mode used (Korkut, Budakci 2009; Barna 2011; Won et al. 2015). The behaviour of sapwood and red false heartwood during drying was compared by Bajraktari (2010), and it was found that red false heartwood is dependent on the presence of juvenile wood in the samples, which interactively modifies its properties and thus the final material quality. The moisture gradient before drying was higher in red false heartwood samples (Shahverdi et al. 2013) than in mature wood samples, as observed in studies by Klement and Vilkovská (2018, 2019), leading to shorter drying times for red false heartwood samples. Based on experimental work (Klement, Vilkovská 2015), it can be concluded that during high-temperature drying, red false heartwood samples dried more slowly than sapwood samples. Increasing the drying temperature had a more pronounced negative effect on the final quality of heartwood-zone samples compared to sapwood-zone samples. The aim of this research was to determine the differences in drying kinetics between red false heartwood and mature beech wood during convective drying.

## **Materials and Methods**

The research on drying kinetics of beech wood containing red false heartwood was conducted on materials containing and not containing red false heartwood. For the samples containing red false heartwood, a 2-meter long log with a diameter of 46 cm was selected, displaying mosaic-type red false heartwood (Fig. 1b). For the samples without red false heartwood, a 2-meter long log with a diameter of 39 cm was chosen (Fig. 1a). All logs originated from the University Forest Enterprise of the Technical University in Zvolen, localized in the cadastral area of the village Kráľová with coordinates 48°29'51.868''N, 19°9'58.718''E.

The logs were cross-cut into sawn timber using a horizontal bandsaw. From the produced sawn timber, smaller dimension boards were selected to ensure they originated from symmetrically identical positions in both logs (Fig. 2).



Fig. 1. Beech log sections: a) without red false heartwood, b) containing red false heartwood

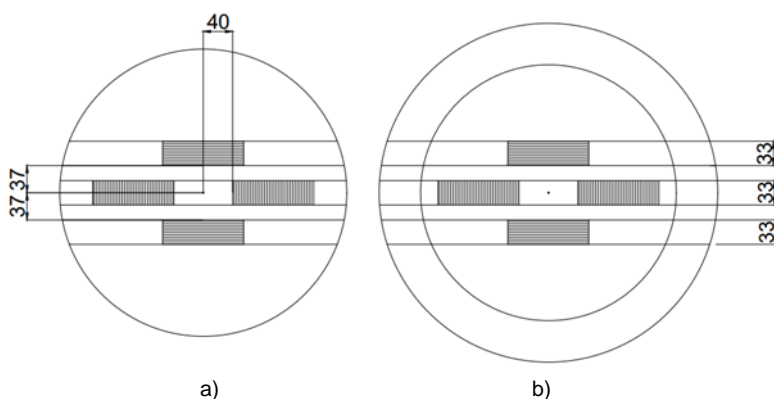
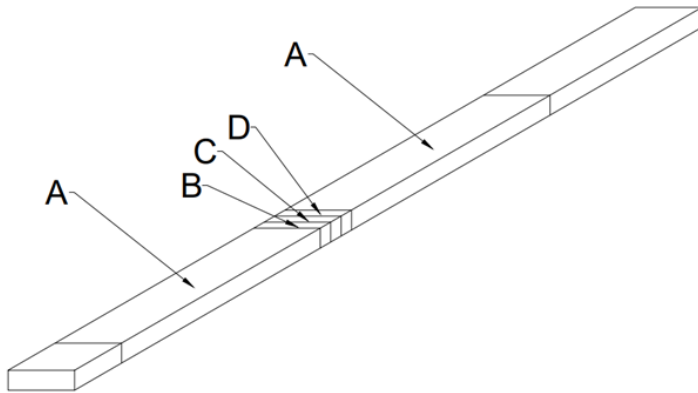


Fig. 2. Cutting diagram and sample selection from log sections according to the position of the pith: a) without red false heartwood, b) containing red false heartwood

From each board, the following were produced: 2 drying samples (A), a moisture sample (B), a moisture gradient sample (C), and a density sample (D) (Fig. 3).

The drying chamber load consisted of 6 symmetrical samples (A) arranged according to their position in logs with RFH (red false heartwood) and without RFH:

- 4 weighing samples:
  - 2 radial - 1 with RFH, 1 without RFH,
  - 2 tangential - 1 with RFH, 1 without RFH,
- 2 samples for continuous moisture gradient monitoring:
  - radial - 1 with RFH, 1 without RFH.



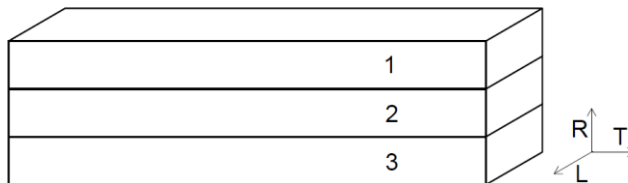
**Fig. 3.** Sample dimensions and positioning within the board; A: drying sample: 33×110×400 mm, B: moisture content sample: 33×20×110 mm, C: moisture gradient sample: 33×15×110 mm, D: wood density sample (after trimming): 20×20×30 mm

### Moisture content

The prepared specimens were weighed on a scale with an accuracy of 0.01 g before drying ( $m_w$ ). Subsequently, they were dried to absolute dry condition ( $m_0$ ) at a temperature of  $103\pm 2^\circ\text{C}$ . The initial wood moisture content was determined according to standard STN EN 13183-1.

### Moisture gradient

The moisture gradient was determined before and after drying for all dried specimens. During the drying process, moisture gradients were regularly measured every 4 days by first cutting a 20 mm section from the edge of the sample, followed by cutting a moisture gradient sample. The dimensions of the moisture gradient samples were 15×33×110 mm. These samples were then cut into three equal slices: 2 surface slices and 1 centre slice (Fig. 4).



**Fig. 4.** Moisture gradient sample: 1, 3: surface slices (for measuring outer moisture content); 2: centre slice (for core moisture determination); L - longitudinal, R - radial and T - tangential direction

The moisture content of the slices was determined gravimetrically before and after drying to absolute dry condition. The moisture gradient was evaluated as the difference between

the moisture content of the surface slices and the centre slice of the wood sample. The moisture gradient was calculated using the formula:

$$\Delta w = w_c - \frac{\sum w_s}{2} \quad (\%) \quad (1)$$

where:  $\Delta w$  - moisture gradient (%),  $w_c$  - moisture content of the centre slice,  $w_s$  - moisture content of the surface slices.

### Wood density

For density measurement, specimens were prepared in accordance with standard STN EN 323. The samples measured 20×20×30 mm. Each specimen was dimensionally measured using a calliper with an accuracy of 0.01 mm and weighed on a scale with a precision of 0.01 g. Subsequently, the samples were dried to absolute dry state. After drying, their dimensions and weight were remeasured.

### Drying process

The actual drying process was conducted in a Memmert HCP 108 laboratory chamber dryer. A two-stage drying mode was used (Table 1). The parameter adjustments were determined based on the current moisture content of the drying samples during the process.

**Table 1.** Parameters of the two-stage drying regime

Drying stage	Wood moisture content $w$	Air humidity $\varphi$ (%)	Drying temperature $t$ (°C)	Psychrometric difference $\Delta t$ (°C)
1st stage	$w > \text{FSP}$	90	60	2
2nd stage	$w < \text{FSP}$	52	60	3

After weighing, the drying specimens were placed in the drying chamber with sufficient spacing between individual pieces to ensure uniform air circulation. Throughout the entire drying process, the moisture content of the samples was monitored at regular 24-hour intervals. The samples were dried to a final moisture content approx. of 10%.

## **Results and Discussion**

### Moisture content

The wood moisture content was determined before and after drying for all test specimens. During the drying process, the moisture content of the drying samples was monitored to establish the drying curve. The initial hypothesis suggested that the red false heartwood zone would exhibit lower initial moisture content compared to the mature wood zone (Kúdela, Čunderlík 2012). Contrary to expectations, the red false heartwood zone showed higher moisture content than the mature wood by an average of 9% (Table 2).

On the based the completion of drying, the moisture difference between zones equilibrated to an average of just 0.5%.

**Table 2.** Wood moisture content

Sample		Pre-drying moisture gradient (%)	Average	Post-drying moisture gradient (%)	Average
Mature wood	Tang.	59.67	59.49	9.51	9.73
	Rad.	61.01		9.99	
	Rad.	57.80		9.68	
Red false heartwood	Tang.	65.92	68.69	9.64	10.18
	Rad.	69.05		10.17	
	Rad.	71.09		10.73	

### Moisture gradients

The moisture gradient was determined before and after drying for all dried specimens to assess moisture distribution across the sample cross-sections. The moisture gradient had been considered a critical parameter for evaluating drying quality. Before drying, the moisture gradient was higher in red false heartwood samples (Table 3), while mature wood samples showed lower gradients. This finding supported the initial hypothesis about the pre-drying moisture gradient distribution in the samples (Shahverdi et al. 2013; Klement, Vilkovská 2016, 2019). During the drying process, the moisture gradient was monitored using two dedicated samples (Fig. 5). Throughout nearly the entire drying process, the moisture gradient remained more uniform in mature wood samples. After drying, the difference in moisture gradients between all samples became minimal. The drying process successfully achieved the desired effect of reducing and equalizing moisture content throughout the material's thickness.

**Table 3.** Moisture gradient

Sample		Pre-drying moisture gradient (%)	Average	Post-drying moisture gradient (%)	Average
Mature wood	Tang.	2.10	1.89	1.13	1.35
	Rad.	1.57		1.59	
	Rad.	2.00		1.34	
Red false heartwood	Tang.	4.07	3.46	0.94	1.34
	Rad.	4.64		1.48	
	Rad.	1.67		1.59	

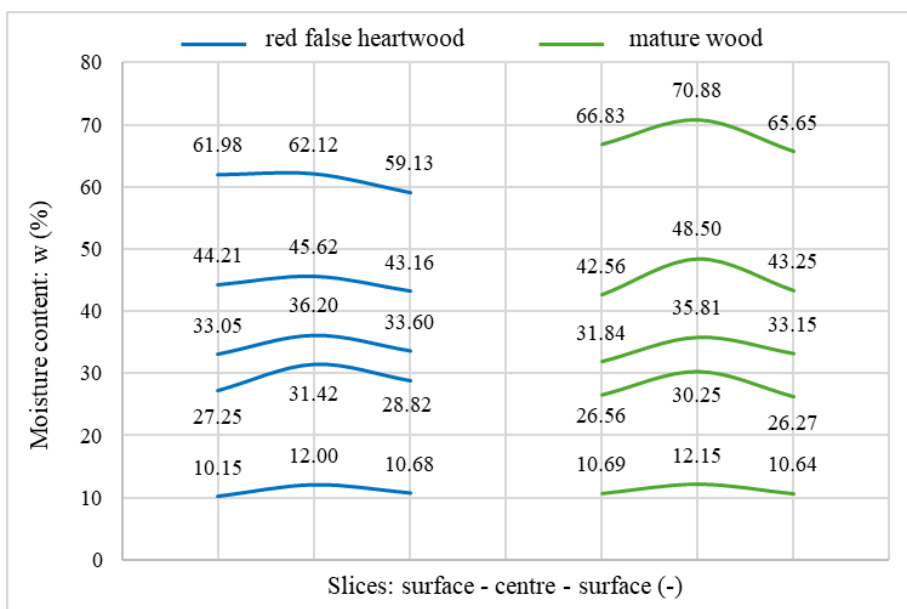
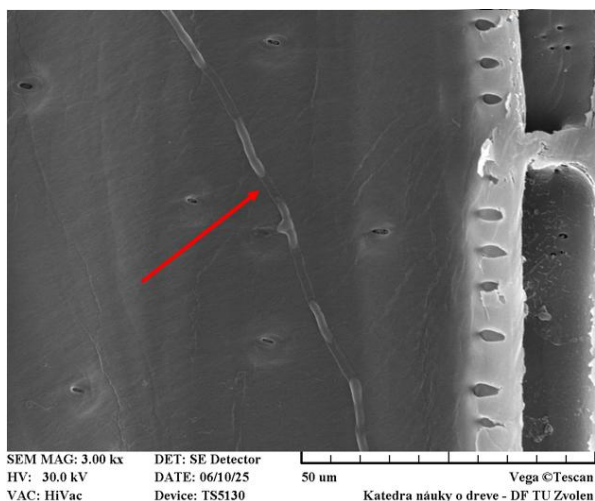


Fig. 5. Moisture gradient of radial samples

### Wood density

The wood density was measured in the absolute dry state. As shown in Table 4, samples of mature wood had higher density than red false heartwood samples, with an average difference of 68.4 kg/m<sup>3</sup>. Electron microscopy (Tescan VEGA) examination revealed the presence of hyphae (Fig. 6) in the red false heartwood. This finding provides an explanation for both the reduced weight and higher moisture content observed in red false heartwood compared to mature beech wood. During sample selection, logs that were free from other defects were specifically chosen. Visual inspection confirmed that the red false heartwood appeared healthy, which would normally suggest similar density between samples. However, significant density differences were revealed by our measurements despite this visual similarity. The presence of hyphae in the red false heartwood to be responsible for these measurable property differences between the two wood types. This demonstrates that microscopic examination is essential for fully understanding variations in wood density and moisture characteristics.



**Fig. 6.** Hyphae in beech red false heartwood vessels (SEM Tescan Vega, Department of Wood Science)

**Table 4.** Wood density

Sample		Density (kg/m <sup>3</sup> )	Min./Max. (kg/m <sup>3</sup> )	Average (kg/m <sup>3</sup> )	St. dev.
Mature wood	Tang.	681.4	655.1 / 710.3	679	20.3
	Tang.	710.3			
	Rad.	669.3			
	Rad.	655.1			
Red false heartwood	Tang.	597.1	597.1 / 625.8	610,6	11.1
	Tang.	615.9			
	Rad.	603.7			
	Rad.	625.8			

### Drying curve

The drying curve is used to illustrate the material's drying process, with moisture loss being shown over time. Analysis of the drying curves revealed how moisture content changed in each sample throughout the drying period. A significant moisture reduction was observed during the second drying stage, which began 8 days after the start of drying. For radial samples (Fig. 7), moisture content decreased gradually until reaching equilibrium between samples. The tangential samples (Fig. 8) showed different behaviour - red false heartwood lost free water more rapidly, with noticeable moisture reduction just 3 days into drying. While the moisture loss patterns of red false heartwood subsequently matched those of mature wood, a consistent 2% difference remained until the final stages, when it narrowed to 1%. These results demonstrate that red false heartwood dried faster than mature wood, consistently reaching lower moisture levels during the same drying time. The faster initial drying of red false heartwood's tangential samples suggests structural differences affecting water movement, while the eventual convergence indicates similar

bound water removal rates in later stages. The findings highlight how sample orientation (radial vs. tangential) and wood type (red false heartwood vs. mature wood) both significantly influence drying kinetics.

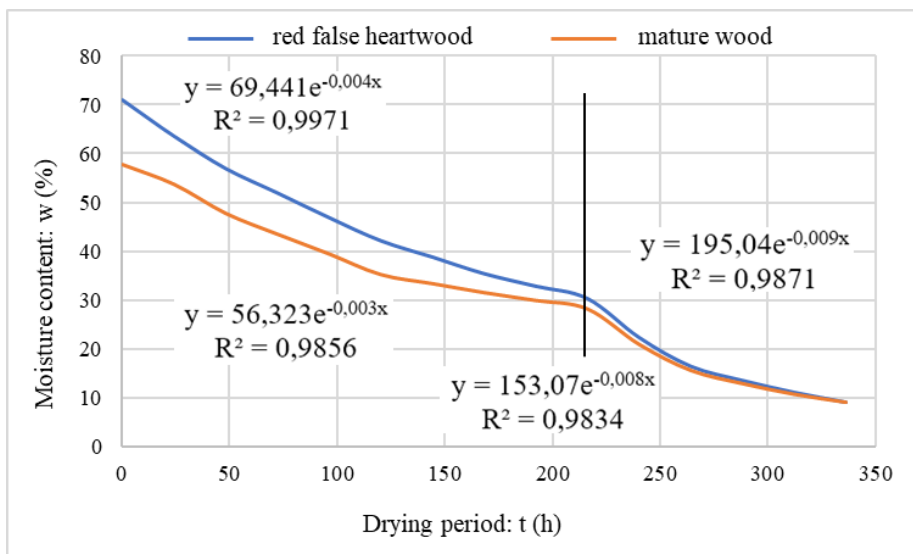


Fig. 7. Drying curve of radial samples

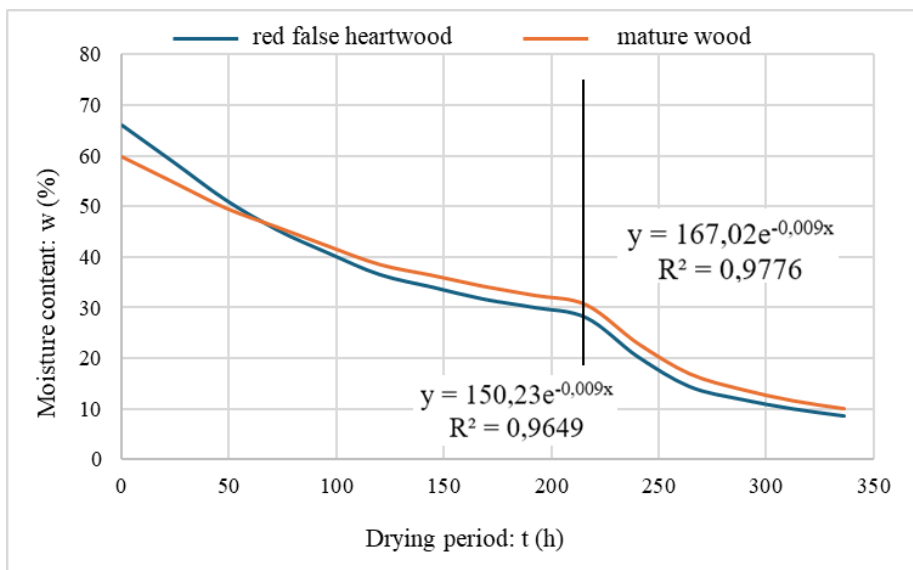


Fig. 8. Drying curve of tangential samples

To analyse the drying rate over time, the moisture loss of the drying samples was calculated (Table 5). The drying rate analysis was divided into two zones: the free water zone (above FSP) and the bound water zone (below FSP). The zone above FSP was

characterized by sample moisture content of  $w \geq 30\%$ , while the zone below FSP had moisture content of  $w < 30\%$ . In red false heartwood samples, a decrease in moisture loss rate was observed when moisture content fell below 30%. This reduction was caused by tylosis formation in the red false heartwood vessels.

**Table 5.** Moisture loss rate of drying samples over time

Sample		Moisture loss rate (%/h)	
		$w \geq \text{FSP} (\geq 30\%)$	$w < \text{FSP} (< 30\%)$
Mature wood	Tang.	0.135	0.171
	Rad.	0.145	0.145
Red false heartwood	Tang.	0.187	0.148
	Rad.	0.189	0.177

## Conclusions

Several important conclusions were reached through comprehensive measurements and analysis:

- The initial moisture content averaged 68.69% in red false heartwood samples compared to 59.49% in mature wood samples - a 9% difference that contradicted our expectation of lower moisture levels in red false heartwood. Following the drying process, the moisture contents equalized between both wood types.
- The moisture gradient before drying was significantly higher in red false heartwood samples (3.46%) compared to mature wood samples (1.89%). However, after drying, both sample types achieved similar moisture gradient levels (approximately 1.35%).
- The wood density of mature wood samples averaged 679 kg/m<sup>3</sup>, which was 68.4 kg/m<sup>3</sup> higher than that of red false heartwood samples (610.6 kg/m<sup>3</sup>). Electron microscopy analysis of the red false heartwood samples revealed the presence of hyphae.
- The drying kinetics of red false heartwood and mature wood samples showed similar patterns. However, tangential samples of red false heartwood exhibited 1% lower final moisture content compared to tangential samples of mature wood after drying completion. Based on these results, no significant difference was observed in the drying kinetics between beech red false heartwood and mature beech wood.
- The moisture loss rate was higher in red false heartwood samples (0.187-0.189%/h) when moisture content was above the fiber saturation point (FSP). Below FSP, the moisture loss rate decreased to 0.148-0.177%/h in red false heartwood. This reduction occurs due to altered permeability caused by tyloses formation in the vessels of red false heartwood.

The results were most likely influenced by the presence of hyphae in the beech red false heartwood, despite our careful material selection process that excluded other wood defects such as knots, reaction wood, decay, fiber distortion, juvenile wood, etc. For future measurements, it will be necessary to pay greater attention to material selection, even if this means working with smaller zones of red false heartwood.

## Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-21-0049 and work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences - project VEGA No. 1/0063/22.

## References

Bajraktari, A. 2010. Different conditions for drying of beech lumbers in Kosovo, African Journal of Biotechnology 9(2), 167-169.

Barański, J., Klement, I., Vilkovská, T., Konopka, A. 2017. High Temperature Drying Process of Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) with Different Zones of Sapwood and Red False Heartwood, BioResources 12(1), 1861-1870. DOI:10.15376/biores.12.1.1861-1870

Barna, M. 2011. Natural regeneration of *Fagus sylvatica* L.: A review, Austrian Journal of Forest Science 128(2): 71-91. ISSN 0379-5292

Čunderlík, I., Vilkovský, P., Račko, V., 2017. Shear strength and analysis of shear area on wood/bark interface on beech wood (*Fagus sylvatica* L.), Wood Research 2017, 62, 691-699.

Delinsky, N. 2005. Modelling automatic control of the process of thermal treatment of logs, Information Technologies and control, UAI, Sofia: 9-14.

Dzurenda, L., Dudiak, M., Kučerová, V. 2023. Differences in Some Physical and Chemical Properties of Beechwood with False Heartwood, Mature Wood and Sapwood, Forests 2023, 14, 1123. DOI:10.3390/f14061123

Furst, C., Seifert, T., Makeschin, F. 2006. Do site factors affect the wood quality of European beech (*Fagus sylvatica* L.) Results from a pre-study on red heartwood, Forst Und Holz 2006, 61, 464-468.

Klement, I., Vilkovská, T. 2015. High-temperature drying of beech wood with the content of red heartwood, (Slovak: Vysokoteplotné sušenie buka s obsahom nepravého jadra), In: Selected processes at the wood processing, XI. International symposium, 2015, Zvolen, Slovakia.

Klement, I., Vilkovská, T. 2018. Analysis of the Effects of Drying Process of Red False Heartwood and Mature Wood on the Quality and Physical Properties of Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.), BioResources 13(2), 4252-4263. DOI:10.15376/biores.13.2.4252-4263

Klement, I., Vilkovská, T. 2019. Color Characteristics of Red False Heartwood and Mature Wood of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Determining by Different Chromacity Coordinates, Sustainability 2019, 11, 690. DOI:10.3390/su11030690

Korkut, S., Budakci, M. 2009. Effect of High-Temperature Treatment on the Mechanical Properties of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) Wood. Drying Technology, 27(11), 1240-1247. DOI: 10.1080/07373930903267161

Kudra, V.S., Vitter, R.M., Gaida, Y.I. 2003. Effect of false heart on the quality of beech wood, Lesn. Khozyaistvo 2003, 5, 23-24.

Kúdela, J., Čunderlík, I. 2012. Beech wood, structure, properties, application, (Slovak: Bukové drevo, štruktúra, vlastnosti, použitie), Technical university in Zvolen: Zvolen. 135.

Marinescu, I., Campean, M., Budau, G. 2010. „Comparison between physical properties and drying behavior of white wood and red heart of European beech,“ in: Proceedings of 11th International IUFRO Wood Drying Conference 2010, Skelleftea, Sweden, 55-60.

McDonald, A.G., Fernandez, M., Kreber, B., Laytner, F. 2010. The chemical nature of kiln brown stain in Radiata pine, *Holzforshung* 2010, 54, 12-22.

Shahverdi, M., Dashti, H., Taghiyari, H.R., Heshmati, S., Gholamiyan, H., Hossein, M.A. 2013. The Impact of red heartwood on drying characteristics and mass transfer coefficients in beech wood, *Austrian Journal of Forest Science* 130(2): 85-101. ISSN 0379-5292

Shahverdi, M., Gholamiyan, H., Karami, E., Dalvand, M. 2010. Comparison between physical properties and drying behavior of white and red heartwood of Iranian beech, In: Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe - Timber Committee, 2010, Geneva, Switzerland.

Straže, A., Žveplan, E. 2022. Improving the Acoustic Properties of Beech Wood by High Pressure Hydrothermal Treatment, In Proceedings on the 10th European Conference on Wood Modification, 2022, Nancy, France

Trenčiansky, M., Hansmann, C. 2007. Beech red heartwood-reduction of its share and negative effects on use, In: Proceedings of the third conference on hardwood research and utilization in Europe, 2007, Sopron, 201-209. ISBN 978-963-9871-08-3

Won, K.R., Hong, N.E., Park, H.M., Moon, S.O., Byeon, H.S. 2015. Effects of Heating Temperature and Time on the Mechanical properties of Heat-Treated Woods, *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(2), 168-176. DOI: 10.5658/WOOD.2015.43.2.168

---

*Reviewed paper / Artykuł recenzowany*

*Submitted / Zgłoszony: 01.07.2025*

*Published online / Opublikowany online: 22.12.2025*



## Analysis of shape changes during different stages of air drying at the hornbeam (*Carpinus Betulus* L.)

Hugo M. Uličný,  
Peter Vilkovský, *ORCID: 0000-0002-2832-4619*  
Ivan Klement, *ORCID: 0000-0003-3349-0125*

Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, 960 01 Zvolen, Slovakia

\*Corresponding author: [xvilkovsky@tuzvo.sk](mailto:xvilkovsky@tuzvo.sk)

---

### Abstract

This study focuses on the analysis of shape changes at the hornbeam timber (*Carpinus betulus* L.) during different phases of air drying. The main objective was to identify and quantify warp bow, warp crook, warp cup, and warp twist at various drying stages. The research was conducted on hornbeam timber samples that were subjected to air drying. Measurements were carried out at regular intervals throughout the drying process, with the influence of moisture on the development of different types of warp being observed. The results showed that warps increased exponentially at the beginning of air drying, with twist-warp being most pronounced in radial-type timber. Significant changes were observed when the relative humidity of the air was reduced from 80.2% to 40.3%, and the temperature was lowered from 11.1°C to 3.3°C. The greatest shape change increase was recorded in November. The warp of some samples was found to have increased up to 25 mm. The observed variability in warp was closely linked to the original position of the samples within the log and the spiral grain structure. This study provides essential insights for optimizing the drying process of hornbeam timber to minimize shape changes.

**Keywords:** hornbeam, warps, air drying, timber, twist

### Introduction

European Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) is a medium-sized deciduous tree species typically reaching heights of 20-25 m. The average wood density of European Hornbeam is approximately 790 kg/m<sup>3</sup>, though its utilization in the wood industry is limited by significant shape instability, which negatively affects its application e.g. in wood constructions. Furthermore, due to its limited durability, hornbeam wood is not suitable for exterior applications (Sikkema, Caudullo & Rigo 2016; Fodor, Lankveld, Németh & 2017). According

to recent data from the Green Report 2023 (Zelena sprava 2023), the proportion of European Hornbeam in Slovak forests has been steadily increasing and currently represents 6.0% of the total tree species composition. This trend indicates its gradual expansion in Central European forest ecosystems. The challenges associated with air drying are generally related to uncontrolled timber drying processes (Bergman 2021). During air drying, moisture reduction in wood leads to warps (Vilkovský, Uličný, Klement, & Vilkovská, 2024). These changes are asymmetric and result in various types of warps. According to Ormarsson, Dahlblom, & Petersson (2000) and Northway (2002), these deformations are influenced by annual ring orientation, moisture content, and drying methods. When moisture content falls below the fiber saturation point (FSP), significant shrinkage occurs, increasing susceptibility to warps. (Dinwoodie 2000; Siau 1984). The drying rate plays a crucial role in the development of drying stresses. If the outer layers of timber experience rapid moisture evaporation, surface checking may occur while the inner layers retain higher moisture content (Kollmann & Côté, 1968; Stamm 1964). This phenomenon creates internal stresses that can lead to warps and timber degradation (Harris 1989). Drying behavior varies significantly among wood species. European Hornbeam is classified as a high-density hardwood, making its drying process more challenging compared to softwoods (Welling et al. 2018; Panshin & de Zeeuw 1980). Dense hardwoods exhibit lower permeability, resulting in higher drying stresses (Espinoza & Bond 2016; Tsoumis 1991). This often leads to increased susceptibility to Warp Twist, particularly in quarter-sawn timber (Kollmann 1951). Drying methods significantly influence the final dimensional stability of timber. Air drying occurs at lower temperatures over extended periods, reducing cracking risk but potentially causing non-uniform warps due to differential exposure to weather conditions (Simpson 1991; Rietz 1999). The development of warps in air dried timber is also affected by the original position of timber in the log (Ormarsson et al. 1999; Ormarsson et al. 2000; Ormarsson & Johansson 2006).

### **Aim and scope of work**

The main aim and scope of work was to analyze and quantify shape changes in European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) timber during different stages of air drying. First, the individual types of warps occurring during air drying, namely: Warp Bow, Warp Crook, Warp Cup, and Warp Twist, were identified and evaluated. Second, the development of these warps was monitored in relation to changes in wood moisture content at different stages of the air drying process. Next, the air drying behavior of timber with spiral grain was compared with that of timber with no spiral grain. Furthermore, the influence of air drying climatic conditions, particularly temperature and relative humidity, on the intensity and character of warps was evaluated.

## Materials and Methods

Both sampling for the research was mining in the Žiar nad Hronom district, within the cadastral area of the village of Hronská Dúbrava, at an altitude of 457 m a.s.l. The study was conducted on two logs, one with spiral grain and one with no spiral grain. Finding a hornbeam tree with spiral grain and with no spiral grain at this site was difficult due to its low occurrence in the local stand. The two logs, therefore, differed only in internal wood structure (presence or absence of spiral grain), not in site conditions. The ages of the logs ranged from approximately 52 to 60 years. In the mentioned locality, deciduous tree species are predominant, specifically European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Hornbeam (*Carpinus betulus* L.). The dimensional characteristics of the logs are detailed in (Table 1.) and in the (Fig. 1) are samples before mining.

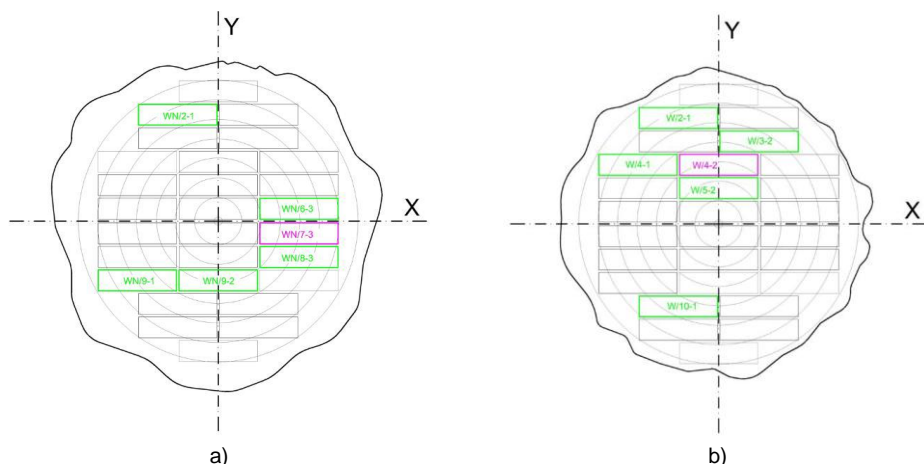
**Table 1.** Dimensional characteristics of selected logs

	Log with no spiral grain	Log in with the spiral grain
Small end diameter	0.380 m	0.350 m
Center diameter	0.410 m	0.370 m
Large end diameter	0.490 m	0.430 m
Log length	2.965 m	3.040 m
Deviation per 1 m of length before air drying $\bar{x}$	0°	5.8°
Deviation per 1 m of length after air drying $\bar{x}$	3°	10.6°
Sample density $\rho_0$	1158.14 kg/m <sup>3</sup>	1151.56 kg/m <sup>3</sup>



**Fig 1.** Selected samples in the forest a) with no spiral grain, b) with spiral grain

The log was processed using a live sawing pattern (Fig. 2), which is the most commonly employed method for hardwoods. Sawing was carried out on a Mebor 1200 horizontal band saw. Unedged boards were produced and later edged into samples with the following dimensions: thickness  $t = 0.025$  m, width  $w = 0.095$  m, and length  $l = 2$  m. The 2 m length was selected in accordance with the standard STN EN 1309-3 (49 1013). Finally, the research specimens were prepared from the sawn timber.



**Fig. 2.** Position the samples in the log with a) with no spiral grain and b) with spiral grain

### Measurement of warps

The measurements were carried out one per week, every Wednesday, throughout the three month research period, using a digital caliper. The measurements were measured on 10 samples (boards; five with spiral grain, five with no spiral grain), taken from the top layer of the air drying cages. All measurements were performed on a flat reference surface of a new panel saw located in the Technical University in Zvolen.

### Air drying conditions

The samples were stored in cages during air drying, which took place from November 10, 2022, to February 14, 2023. The drying conditions (temperature in °C and relative humidity in %) were recorded hourly using a Data Logger Device Comet S3631.

From the remaining ten pieces of timber, one piece was selected, and drying samples were sawn from it to monitor and calculate moisture content during the process. To prevent rapid moisture loss, the fronts of the moisture samples (both with and without spiral grain) were coated with a silicone layer (Fig. 3). The samples were weighed weekly at a temperature of  $103 \pm 2^\circ$ .

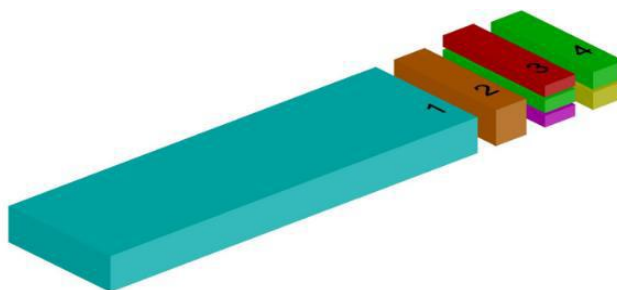


**Fig. 3.** Drying sample with silicone layer

### Moisture gradient

The drying of samples to determine both the moisture gradient and the initial moisture content of the timber before drying was carried out in a Memmert UFE 500 drying chamber. The heating temperature of the samples was set to  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

The first set of samples, which were immediately taken from the processed logs (Fig. 4.), was dried until a constant weight was achieved. The weight of the samples was measured gravimetrically three times a day at four-hour intervals (8:00, 12:00, and 16:00). The moisture gradient and moisture content samples were taken from a distance of 500 mm from the end of the timber.



**Fig. 4.** 3D model, how were the samples for drying selected for research from the timber. 1. drying sample, 2. moisture sample, 3. moisture gradient, 4. covering

### Air drying cages

After processing the cuts, the sawn timber was transferred to the drying cages (Fig. 5), where two drying cages were prepared - one for timber with spiral grain and another for timber with no spiral grain. The cages were placed on four concrete pedestals on an asphalt base. The boards were stacked in three layers, with five samples per layer, arranged in the following sequence: tangential - radial - tangential - radial - tangential.



**Figure 5.** Two drying cages (green with no spiral grain), (blue with spiral grain)

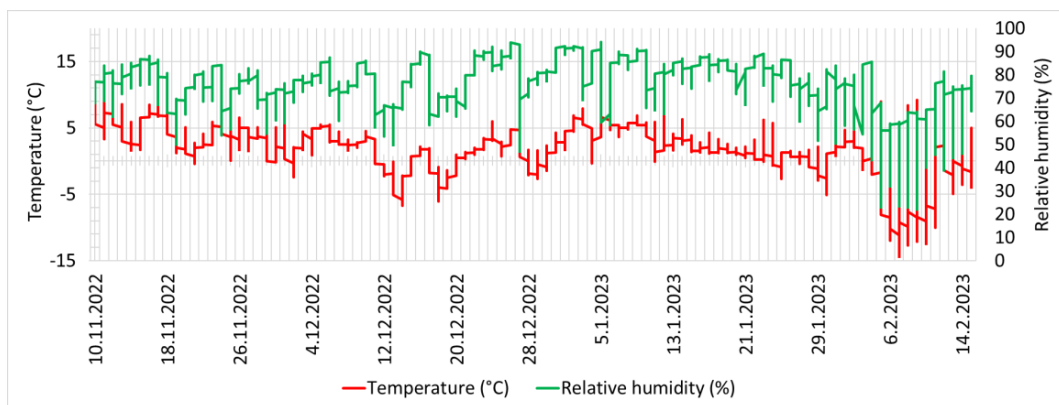
### Statistical analyses

The data obtained from measurements were subjected to statistical processing to evaluate the impact of spiral grain factors on warps. Linear regression analysis ( $N = 10$ ) was employed to analyze the simultaneous influence of temperature and relative humidity on the development, specifically - Warp Bow. The statistical significance of the model was assessed using the F-test, while the contribution of individual independent variables was determined through p-values at a significance level of  $\alpha = 0.05$ .

Furthermore, linear regression was used to quantify the mathematical relationship between temperature and the value of warp. The strength of these relationships was expressed by the correlation coefficient ( $R$ ) and the coefficient of determination ( $R^2$ ).

### Results and Discussion

From the data of the Comet S3631 Data Logger Device (Fig. 6), it was observed that the ambient temperature fluctuated within a range of  $-14.3^{\circ}\text{C}$  to  $9.2^{\circ}\text{C}$ , indicating a wide temperature range and the associated shape changes in the dried samples. The relative humidity was recorded between 23.1% and 93.1%, with higher values occurring during the night, which is consistent with the typical daily cycle of moisture.

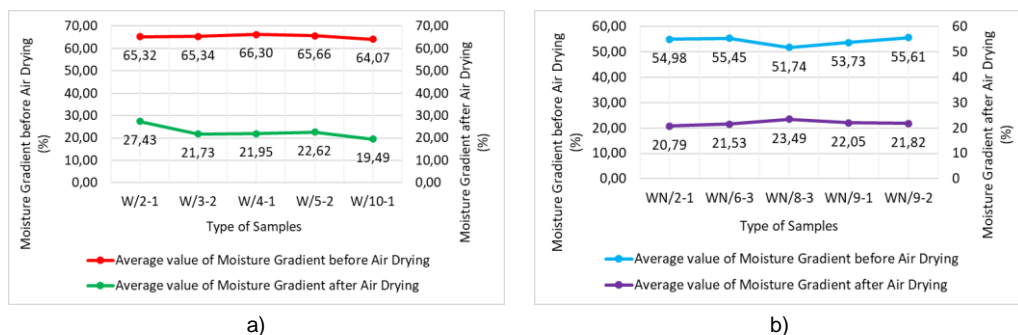


**Fig. 6.** Air-drying conditions were monitored over the three-month research period

### Moisture gradient

High initial moisture levels ranging from 64.07% to 66.30% were observed in the W-series samples, which were significantly reduced to 19.49-27.43% after air-drying, demonstrating a substantial moisture reduction of approximately 40-45 percentage points. The most effective drying was achieved by sample W/10-1, where residual moisture was lowered to only 19.49%.

In the WN-series samples, lower initial moisture content (51.74-55.61%) was recorded, and levels of 20.79-23.49% were reached after drying, showing a slightly less pronounced but still considerable reduction of 30-33 percentage points. More consistent post-drying results were displayed by the WN-series, with all samples being clustered within a narrower 2.7% range compared to the 7.9% range of the W-series, suggesting potentially more uniform material properties or drying behavior in these samples.



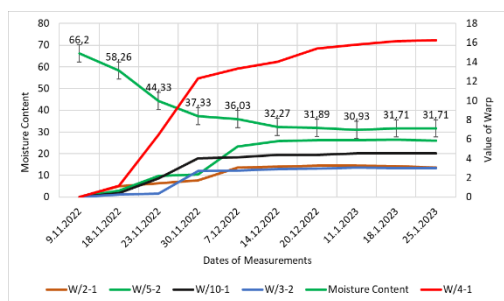
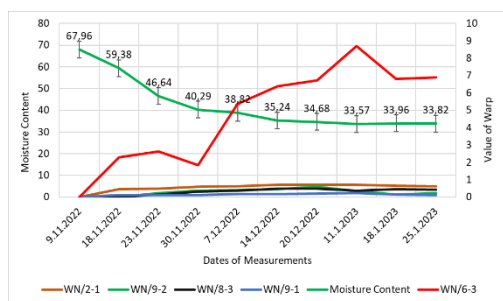
**Fig. 7.** a) Moisture of samples at the samples with spiral grain b) Moisture of samples at the samples with no spiral grain (W - mean, sample with spiral grain, 2 - mean second row and 1 mean first sample from the row. The same applies to the second sample, but WN means samples with no spiral grain)

### Shape changes during different stages of air drying

(Comment - WN: log with no spiral grain; W log with spiral grain; First number is the rank in y-axis; Second number is the rank in x-axis. Example: WN/2-1 - log with no spiral grain / second rank in the y-axis and first rank in the x-axis).

#### Warp Bow

The initial moisture content is observed to decrease sharply from 67,96 % to 33,82% in the samples with no spiral grain (Fig. 8a), indicating the early stages of drying, where uneven stress or warping is suggested by dimensional measurements. In the (Fig. 8b), a more gradual decline in moisture from 66,2% to 31,71 % is recorded, and the sample labels (e.g., “W/3-2”) imply that shape changes have been stabilized but not fully eliminated. The deformation of bow warps during drying is highlighted in both images, with rapid warping risks identified in the early phase and equilibrium-focused adjustments noted later. Controlled air drying is emphasized as necessary to minimize defects.

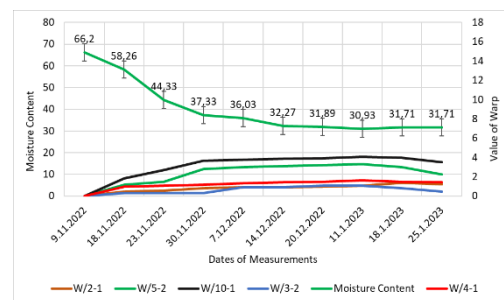
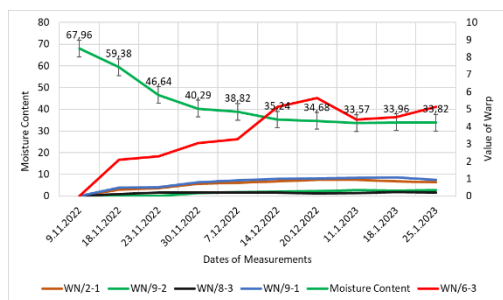


a) b)  
**Fig. 8** Impact of sample moisture content on the size of warp bow

**Warp crook**

A sharp reduction in moisture content from 67.96% to 33.82% is observed in the (Fig.9a), with the values being recorded at different stages of drying. The samples, labeled as WN/2-1, WN/9-2, and others, are monitored to track deformation, where uneven drying stresses are indicated by the numerical progression.

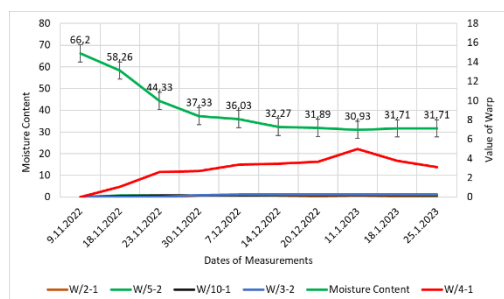
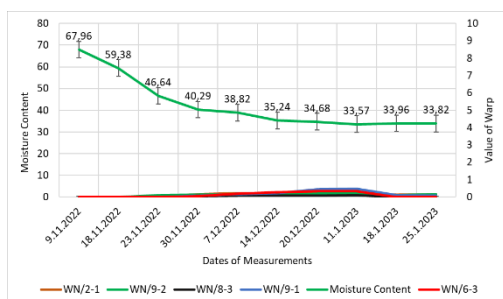
In the (Fig. 9b), a similar trend is displayed, with moisture levels being reduced from 66.2% to 31.71%, followed by an anomalous 18.18% reading that suggests localized drying variations. The samples, designated as W/3-2, W/2-1, and similar, are analysed to assess warp crook development as equilibrium is gradually approached.



a) b)  
**Fig. 9.** Quantifying the impact of moisture content on warp crook in air dried samples

**Warp cup**

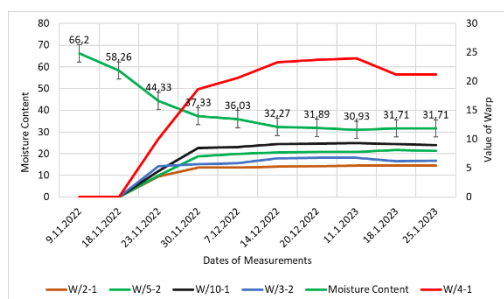
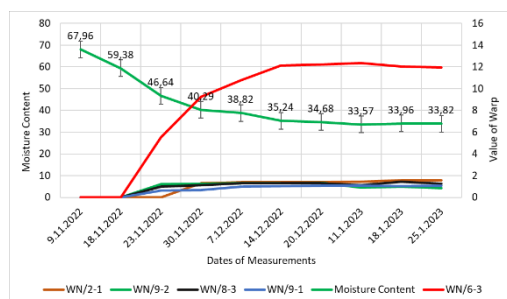
The drying characteristics of the wooden specimen are systematically documented through progressive moisture content measurements (Fig. 10a / Fig. 10b). A consistent reduction from 67.96% to 33.82% is observed, with the most substantial decrease occurring in the initial phase (67.96% to 46.64%). The subsequent gradual decline to approximately 33% indicates the approach toward equilibrium moisture conditions. Minor fluctuations between 34.68% and 33.96% are noted in the final stages, suggesting the presence of residual stresses within the material's cellular structure.



a) b)  
**Fig. 10.** Moisture content of samples at warp cup for air-dried hornbeam

**Warp twist**

A progressive moisture reduction from 67.96% to 33.82% (Fig. 11a). Fluctuations between 33.57% and 33.96% are noted, indicating residual stresses that may contribute to warp-twist deformation. The secondary data suggests a warp twist development accelerates when moisture falls below 30%. The stabilization phase between 31.89% and 31.71% reveals persistent internal stresses.



a) b)  
**Fig. 11.** Warp twist in air dried hornbeam samples

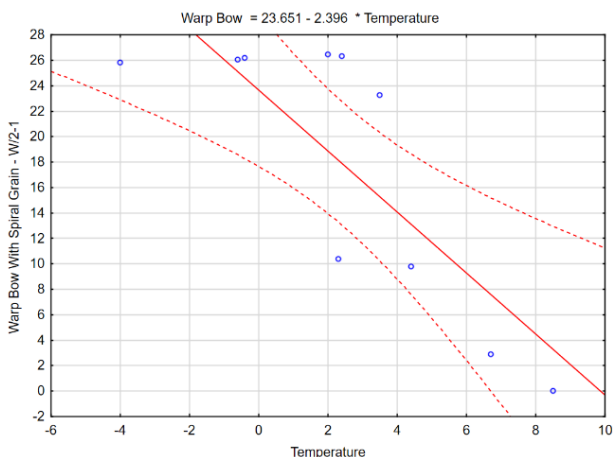
**Influence of temperature on the size of warps**

Table 2 presents the results of a linear regression analysis ( $N = 10$ ) examining the influence of temperature and moisture content on the dependent variable, revealing a strong overall correlation ( $R = 0.837$ ) with statistically significant model fit ( $F(2,7) = 8.174$ ,  $p < 0.015$ ). Temperature showed a significant effect  $p=0.005$ , while relative humidity had a non-significant influence  $p = 0.355$ .

**Table 2.** Linear regression analysis of warp bow dependence on temperature and relative humidity

R= .83677633 R2= .70019463 Adjusted R-Squared = .61453596 F(2,7)=8.1742 p<.01475 Standard Error from estimate 6.6612						
N=10	b*	Standard Error from z	b	Standard Error from z	t(7)	p-value
Intersection			-3,612	27,663	-0,131	0,900
Temperature	-0,827	0,208	-2,442	0,613	-3,985	0,005
Relative Humidity	0,205	0,208	0,368	0,371	0,990	0,355

The graph (Fig. 12), displays a linear regression model for Warp Bow ( $23.651 - 2.396 \times \text{Temperature}$ ) showing a significant inverse relationship between temperature and warp bow, where each 1°C increase in temperature reduces warp bow by 2.396 units, with the intercept (23.651 units at 0°C) suggesting baseline deformation under neutral thermal conditions.



**Fig.12.** Linear relationship between temperature and warp bow deformation

Temperature dominates for warps deformations. The strong inverse relationship ( $p = 0.005$ ) between temperature and example - Warp Bow (slope =  $-2.396 \text{ units}/^\circ\text{C}$ ) suggests thermal contraction is the primary driver of Warp Bow. This aligns with prior work on hardwood drying stresses Ormarsson et al. (2000), but the magnitude of temperature sensitivity in hornbeam exceeds reported values for other hardwoods like oak ( $-1.8^\circ\text{C}$ ) (Bergman 2021). While moisture gradients theoretically induce warping SIAU (1984), our regression showed no significant effect of relative humidity ( $p = 0.355$ ). However, the observed 40-45% moisture reduction in early drying stages (Fig. 7) coincided with exponential warp increases, supporting Dinwoodie's (2000) fiber saturation point (FSP) threshold hypothesis. The lack of statistical significance may reflect our study's narrow relative humidity range (23-93%) compared to controlled kiln experiments. Samples with spiral grain exhibited 3.6× higher post-drying deviation ( $10.6^\circ$  vs.  $3^\circ$  per meter; Table 1),

validating Kollmann's (1951) model of shear stress accumulation in anisotropic wood structures. Radial-type timber showed pronounced twist (Fig. 11), likely due to differential tangential/radial shrinkage (Espinoza & Bond 2016). Hornbeam was concluded to be particularly sensitive to thermally-induced warping, with spiral grain introducing additional risk, supporting its preferential use in non-structural applications where greater warp tolerance exists.

## Conclusions

- Early air-drying stages often cause warps due to uneven moisture loss.
- The effectiveness of air-drying for moisture removal was confirmed by both sample groups, though the absolute reduction magnitude was found to depend on initial moisture levels.
- Greater variability in the W-group (with spiral grain) results was observed, indicating these samples may be more sensitive to drying conditions.
- The data confirms that warp developments are closely tied to moisture gradient-induced stresses during air-drying.
- Slower moisture loss in later stages reduces warp risk, but residual stresses may persist.
- The effect of relative humidity is not statistically significant ( $p > 0.05$ ).
- The effect of temperature is statistically significant ( $p < 0.05$ ).

## Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under contract no. APVV-21-0049. This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences - project VEGA no. 1/0063/22.

## References

- Bergman, R. (2021). Drying and control of moisture content and dimensional changes. Wood Handbook (1-21). Edition: 2021: FPL-GTR-282. Chapter: 13. Publisher: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- Dinwoodie, J.M. (2000). Timber: Its Nature and Behaviour (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9780203477878>
- Espinoza, O., & Bond, B. (2016). Vacuum Drying of Wood-State of the Art. Curr Forestry Rep 2, 223-235. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>
- Fodor F., Lankveld C., Németh R. (2017). Testing common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) acetylated with the Accoya method under industrial conditions. iForest 10: 948-954. - doi: <https://doi.org/10.3832/ifor2359-010>. 5. Harris, J.D. (1989). Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-73779-4>

Kollmann, F., & Cote, W. (1968) Principles of Wood Science and Technology. Volume 1, Solid Wood. Springer-Verlag, New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87928-9> 7.  
Northway, R. (2002). Techniques to monitor drying stresses and dimensional changes in timber from plantation-grown eucalypts for kiln schedule development and kiln control. *Maderas-ciencia y tecnologia*, 4, 148-154.

Ormarsson, S. & Johansson, M. (2006). Finite element simulation of growth stress formation and related board distortions resulting from sawing and forced drying. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 36. 408-423.

Ormarsson, S., Dahlblom, O. & Petersson, H. (1999). A numerical study of the shape stability of sawn timber subjected to moisture variation Part 2: Simulation of drying board. *Wood Science and Technology* 33, 407-423. <https://doi.org/10.1007/s002260050126>

Ormarsson, S., Dahlblom, O. & Petersson, H. (2000). A numerical study of the shape stability of sawn timber subjected to moisture variation. *Wood Science and Technology* 34, 207-219 <https://doi.org/10.1007/s002260000042>

Panshin, A.J., & de Zeeuw, C. (1980). *Textbook of Wood Technology (722)*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Rietz, R.C., Forest Products Laboratory (U.S.). (1999). *Air drying of lumber*. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Siau, J.F. (1984) *Transport processes in wood*. Springer, New York, NY 245. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-69213-0>

Sikkema, R., Caudullo, G., de RIGO, D. (2016). *Carpinus betulus in Europe: distribution, habitat, usage and threats*.

Simpson, W. T., (1991). *Dry Kiln Operators Manual*. Agric. Handbook AH-188. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Správa o lesnom hospodárstve v slovenskej republike za rok 2022 - Zelená Správa 2023. (2023). Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky a Národné lesnícke centrum. ISBN 978-80-8093-353 1. EAN 978808093353.

Stamm, A. J. (1964). *Wood and cellulose science*. New York: Ronald.

Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood. Structure, properties, utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Vilkovský, P., Uličný, H.M., Klement, I., & Vilkovská, T. (2024). The Differences in Shape Stability for Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) Lumber with and without Spiral Grain. *Applied Sciences*, 14(12), 5250. <https://doi.org/10.3390/app14125250>

---

*Reviewed paper / Artykuł recenzowany*

*Submitted / Zgłoszony: 02.05.2025*

*Published online / Opublikowany online: 22.12.2025*



## Effect of grain direction on particle size distribution during sanding of spruce, beech and oak wood

Martin Kučerka<sup>a,\*</sup> ORCID: 0000-0002-3875-0232  
Alena Očkajová<sup>a</sup> ORCID: 0000-0001-9347-4501

<sup>a</sup>Faculty of Natural Sciences, Matej Bel University, Banská Bystrica 974 01, Slovakia

\*Corresponding author: [martin.kucerka@umb.sk](mailto:martin.kucerka@umb.sk); [alena.ockajova@umb.sk](mailto:alena.ockajova@umb.sk)

---

### Abstract

This paper focusses on the impact of the grain direction of the sanding of selected wood types on the particle size distribution. In the experiment, a hand-held GBS 100 AE belt sander was used, with particles obtained through two grain directions of the sanding models: at angles of 0° and 90° with respect to the wood structure. The study examined the effects of grain direction on the particle size distribution in beech, oak and spruce wood sawdust. Statistical analysis was used to characterize the particle size distribution, and a combination of grain direction was compared for each type of wood. Statistical analysis revealed significant differences in the particle size distribution between the two cutting grain directions, with p-values of 0,018 and 0,0002 for beech and spruce, respectively. On the contrary, oak did not show minimal statistically significant differences between grain directions ( $p = 0,912$ ). The results highlight the crucial role of the wood microstructure in determining the effect of grain direction on particle morphology. Specifically, spruce showed the highest sensitivity to grain direction changes, while oak remained relatively stable in different cutting directions.

**Keywords:** wood sawdust, particle size distribution, grain direction, belt sanding, beech, oak, spruce, sieve analysis

### Introduction

Wood is a natural material composed primarily of cell walls made of cellulose, hemicellulose, and lignin, arranged in an anisotropic structure. The main components are long cellulose fibers (tracheids in softwoods and vessels in hardwoods), which form the longitudinal (axial) direction, while other cells and pores run in the transverse (radial and tangential) directions. This anisotropy - the differing mechanical and physical properties along the grain compared to across the grain - significantly affects the behavior of wood

during machining, especially in cutting and sanding processes (Kollmann & Côté, 1968; Zimmermann et al., 2006).

During sanding, abrasive grains collide with the surface of the wood, gradually detaching or tearing fragments from the material. The mechanism of sawdust formation depends on several factors: the grit size of the sandpaper, the applied pressure, the speed of movement, and especially the grain direction of sanding. In the longitudinal direction, abrasive grains generally encounter lower resistance, resulting in longer, fibrous particles; in contrast, transverse sanding typically produces smaller, more amorphous fragments (Welling et al., 2008; Demirci, 2019).

The particle size distribution of sawdust has practical implications across various industries: in fiberboard production, it is critical for layer compaction and product strength; in the biofuel sector, it influences grinding efficiency and combustibility; and in pharmaceutical and food applications, wood dust parameters affect processing behavior and safety standards (Delviawan et al., 2019). To evaluate distribution, common techniques include laboratory sieve analysis, laser diffraction, or optical imaging, with results typically characterized by metrics such as median size ( $D_{50}$ ), standard deviation ( $\sigma$ ), and curve shape (skewness, kurtosis).

The grain direction of sanding in relation to the wood grain is a key factor influencing not only the abrasive process mechanics but also the shape and size of the removed particles. Belt sanders, such as the GBS 100 AE, require precise belt guidance, and two extreme orientations are typically used in experimental setups (Očkajová, 1999; Očkajová et al., 2003; Očkajová & Banski, 2013):

- 0° (longitudinal cut): the movement of the belt aligns with the grain direction; longer, fibrous particles are expected due to the “pulling” of material along the fibers,
- 90° (transverse cut): the movement of the belt is perpendicular to the fibers, resulting in shorter, crushed particles due to the fracturing mechanism along natural structural bonds in the wood (Nourbakhsh et al., 2010; Mu et al., 2018).

Although there are existing studies addressing changes in particle shape and size at grain directions (Dzurenda, 2000; Dzurenda et al., 2008; Dzurenda & Očkajová, 2003; Rogoziński et al., 2021), comparisons between individual wood species and their statistical validation remain partially unexplored. Previous research suggests that differences in particle morphology affect not only material handling and flow during further processing, but also the wear rate of the sanding belt and the associated economic costs of the machining process. These knowledge gaps serve as the motivation for the present study, which focuses on quantitatively evaluating the effect of grain direction on the particle size distribution of three common wood species: beech, oak, and spruce.

## **Materials and Methods**

### Selection of Sawdust Test Samples and Description of the Sampling Site

Research was carried out on wood dust obtained from an experimental sanding process using a Bosch GBS 100 AE handheld belt sander, with dust extraction provided by a Rowenta vacuum cleaner. For analysis, dust was produced from three species of wood: beech, spruce, and oak. The samples were sanded along the grain and across the grain, primarily in the radial plane of the wood. Cubic samples with dimensions of 50×50×50 mm were used for sanding. These samples were dried and conditioned to a moisture content of 12%. The average density of individual wood samples was as follows: spruce 395 kg·m<sup>-3</sup>, beech 692 kg·m<sup>-3</sup>, and oak 748 kg·m<sup>-3</sup>. The dust generated during the sanding was transferred from the disposable vacuum cleaner paper filter bag into plastic bags and sealed to prevent changes in the moisture content of the test samples.

### Cutting Parameters of the Sanding Process

#### *Machine*

Belt sander Bosch GBS 100 AE:

- Sanding was performed at a cutting speed of 7,8 m.s-1
- Rated power: 1200 W

#### *Tool*

Abrasive belts LS 309 XH from Klingspor (Germany):

- Belt length: 610 mm
- Belt width: 100 mm
- Grit size: 80

### Specific pressure

The sanded sample was pressed against the abrasive belt with a constant contact force using a roller mechanism. The specific pressure was 1,04 N.cm<sup>-2</sup>.

For the preparation of wood dust, a new sanding paper was used for each wood species and each grain direction, and the sander was thoroughly cleaned after each sanding process.

### Sample Collection

The wood dust was collected using a Rowenta vacuum cleaner in disposable paper bags, from which it was transferred to plastic bags. A new paper filter was used for each wood species and each direction to maintain the conditions specified in the STN 834501 standard, which defines a sample as a representative part of the whole, in which a given substance is determined with the aim of obtaining information about the whole from which it was taken.

### Particle Size Measurement

The sieve analysis was performed using an automatic vibratory sieve shaker RETSCH AS 200 with a set of control sieves according to STN ISO 3310-1. The mass of residues on individual sieves was determined using BOSCH digital laboratory scales with a weighing accuracy of 0,001 g. The measurements were carried out at an average sanding dust moisture content of 12%, as higher moisture is not suitable for dust sieving. The methodological procedure is described in detail in the article Kučerka, 2008.

The above procedure was repeated three times for each measured sample to eliminate measurement errors.

To refine the information about the shape and dimensions of the largest particles in the coarse fraction, as well as the shape and dimensions of the smallest particles in the very fine fraction of wood dust, a separate analysis of particle grains was carried out.

The analysis of the dimensions of the smallest particles in the very fine fraction was performed using an optical method - through microscopic image analysis. The images were acquired using a Nikon Optiphot-2 microscope with a Nikon 4x objective in the biometric laboratory of FLD MZLU Brno. The wood dust particles were recorded with a 3-chip TV CCD camera Hitachi HV-C20 (RGB 752×582 pixels), with a horizontal resolution of 700 TV lines, and evaluated using the software LUCIA-G 4.0 (Laboratory Universal Computer Image Analysis). This procedure is described in detail in the article Mračková et al., 2016.

### Statistical Analysis

Statistical analysis was employed to characterize the particle size distribution and to evaluate the impact of grain direction (0° and 90°) on particle morphology. The ANOVA analysis was used to identify significant differences between the selected wood species (beech, oak, and spruce) across various sieve sizes. To further determine the significance of differences between the two grain directions for each wood species and sieve fraction, t-tests were performed.

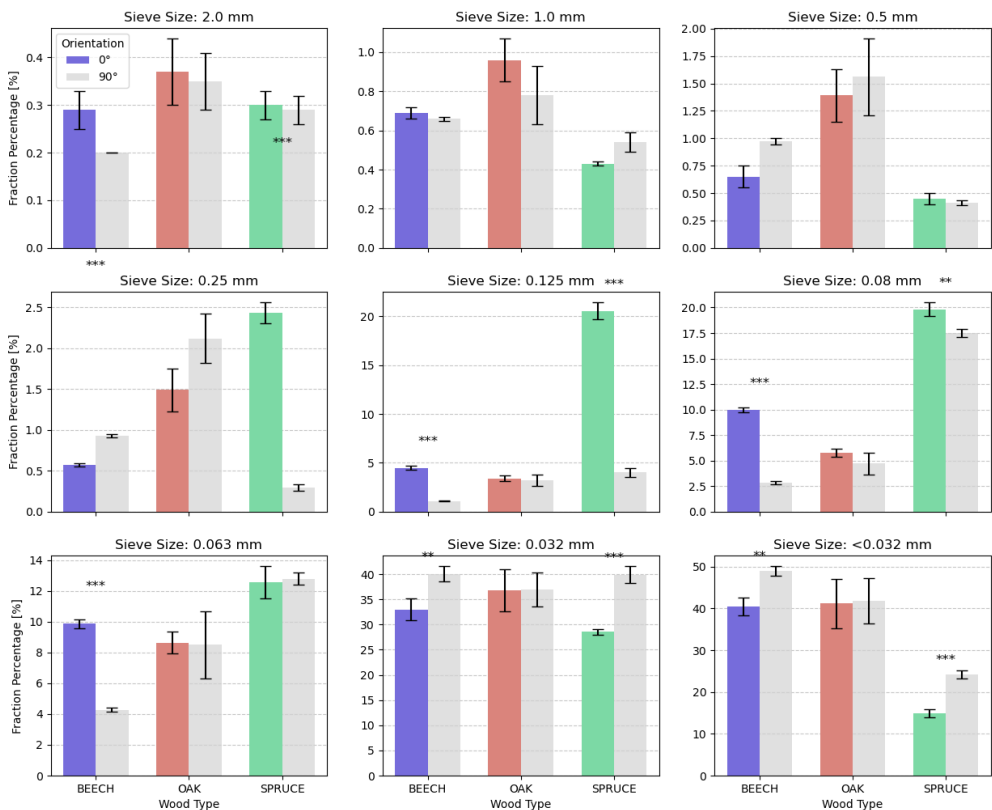
The results were considered statistically significant at a threshold of  $p < 0,05$ . Data variability was quantified using the weighted average particle size, standard deviation, and standard error of measurement, the latter of which is represented in the graphical outputs as error bars. In the figures, levels of statistical significance are indicated by asterisks (e.g., \*, \*\*, \*\*\*).

### **Results and Discussion**

As part of the experimental research, samples of three wood species (beech, oak, and spruce) were analyzed. Samples were obtained by sanding with a handheld belt sander (GBS 100 AE) under two grain directions, at angles of 0° and 90° relative to the wood grain. The results of the sieve analysis were processed and visualized using graphs, providing a comprehensive overview of the particle size distribution.

**Comparison of Weighted Average Particle Sizes with Error Bars**

The following set of graphs (Figure 1) presents the weighted average particle sizes for each wood species at both grain directions (0° and 90°) across all sieve sizes. The error bars represent the standard error of measurement, allowing for a statistical evaluation of the significance of the observed differences. The graphs clearly show that the grain direction has a significant impact on the resulting particle size; however, this effect varies depending on the wood species. The asterisks (\*) in the following graphs (Figure 1) represent the level of statistical significance of the differences between the individual grain directions (0° and 90°) based on the size of the particles. (\*) Asterisks indicate statistical significance: \*p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\*p < 0,001. These symbols in Figure 1 confirm that the differences in particle distribution (e.g., for spruce on the 0,125 mm sieve) are not accidental but are directly influenced by the grain direction.



**Fig. 1.** Mean fraction percentage with standard deviation by wood type and grain direction

In the case of beech (Tab. 1), a statistically significant difference (p = 0,018) was observed between the grain directions. Grain direction at 0° produced particles with a weighted average size of 0,0803 mm, while the 90° grain direction resulted in finer

particles with an average size of 0,0723 mm, representing a 9,86% difference. This difference is large enough to have practical implications for the processing of beech wood.

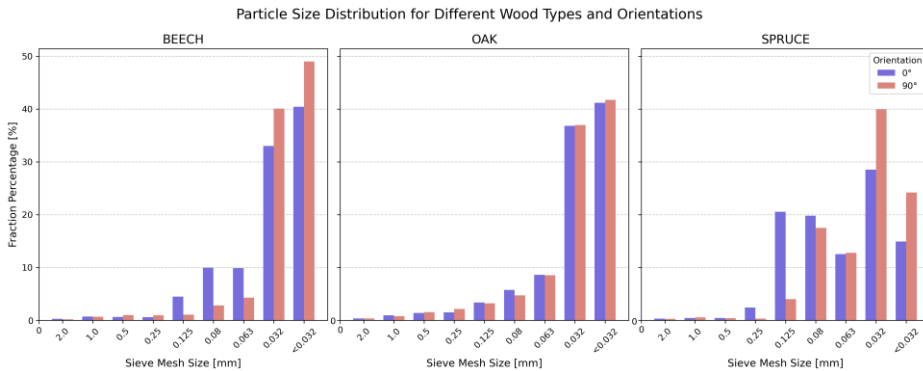
The most pronounced difference was recorded for spruce, where grain direction at 0° produced particles with an average size of 0,0909 mm, while the 90° grain direction yielded significantly finer particles with an average size of 0,0710 mm. This 21,87% difference is highly statistically significant ( $p = 0,0002$ ) and indicates that grain direction has a substantial effect on the particle morphology of spruce wood.

In contrast, oak exhibited only a minimal difference between grain directions (just 0,72%), which was not statistically significant ( $p = 0,912$ ). The average particle size was 0,0914 mm at 0° and 0,0907 mm at 90°, suggesting that oak wood demonstrates high stability in particle size distribution regardless of grain direction.

**Table 1.** Statistical Differences Between Wood Species

Wood type	Mean_0°	Mean_90°	Percent Difference	p_value	Significant
Beech	0,0803	0,0723	9,86	0,018	***
Oak	0,0914	0,0907	0,72	0,912	ns
Spruce	0,0909	0,0710	21,87	0,0002	***

The ANOVA analysis revealed significant differences between the wood species for most sieve sizes ( $p < 0,05$ ). T-tests identified significant differences between the grain direction of 0° and 90° for many combinations of wood species and sieve sizes, particularly for beech and spruce. The beech shows a higher percentage of smaller particles (< 0,032 mm) when sanded at 90°. Oak generally produces larger particles compared to other wood species. Spruce exhibits the most pronounced differences between grain direction.



**Fig. 2.** Particle size distribution for different wood types and grain directions

### Evaluation of Particle Sizes

The grain direction has a statistically significant effect on particle size only in the case of beech, where grain direction at 0° produces larger particles. For oak and spruce, no statistically significant difference was observed between the grain directions.

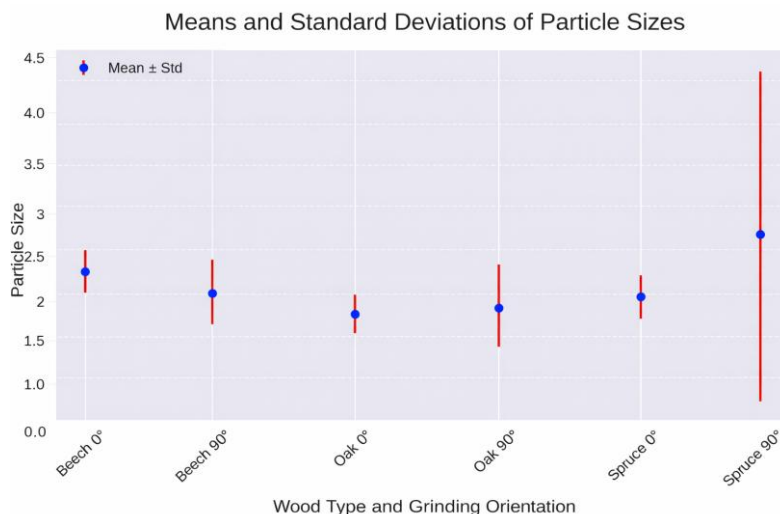
**Table 2.** Analysis of particle sizes during sanding of beech, oak, and spruce parallel and perpendicular to the grain

Wood type	Grain direction	Average Size ( $\mu\text{m}$ )	Statistical Significance
Beech	0° vs 90°	2,30 vs 2,09	yes (p = 0,0218)
Oak	0° vs 90°	1,81 vs 1,90	no (p = 0,4560)
Spruce	0° vs 90°	2,03 vs 2,75	yes (p = 0,0021)

The next graph illustrates the average particle sizes along with their standard deviations. It was found that beech, when sanded longitudinally, has the highest average particle size compared to other species. This may indicate that the grain direction or the wood species results in larger particles.

In contrast, oak sanded longitudinally has the lowest average particle size. This means that the average particle size in this group is smaller than in the others, suggesting that the sanding process or the wood type leads to finer particles.

Spruce, when sanded transversely (90°), shows significantly larger error bars, indicating high variability in particle size. This suggests that the particles obtained from the sanding of spruce wood are inconsistent and more fibrous, which is also supported by findings from other studies (Očkajová, 2002; Očkajová et al., 2006; Marková et al., 2016; Očkajová & Marková, 2016; Očkajová et al., 2018, 2019, 2021).



**Fig. 3.** Means and standard deviations of particle sizes

The analysis revealed several interesting findings:

- Fine fractions (particles smaller than 0,032 mm) dominate in all wood species.
- Hardwoods (oak, beech) tend to produce finer particles compared to spruce.
- Transverse grain direction (90°) tends to produce finer particles than longitudinal grain direction (0°).
- Remarkable variability is observed among the samples.

## Conclusions

The experimental research demonstrated that the grain direction of the sanding has a significant impact on the size distribution of the particles in different wood species. The results of the sieve analysis revealed statistically significant differences between longitudinal (0°) and transverse (90°) grain direction, particularly for beech and spruce. In the case of beech, longitudinal grain direction produced larger particles, while transverse grain direction resulted in finer fractions, with a difference of nearly 10% ( $p = 0,018$ ). An even more pronounced effect was observed for spruce, where transverse grain direction produced particles that were 21,87% smaller ( $p = 0,0002$ ).

In contrast, oak exhibited high particle size stability regardless of grain direction - the difference was minimal and statistically insignificant ( $p = 0,912$ ).

Analysis confirmed that fine fractions (particles < 0,032 mm) dominate in all wood species examined. Hardwoods (beech and oak) tended to produce finer particles than softwood (spruce). Furthermore, transverse grain direction (90°) generally led to the production of finer and less fibrous particles compared to longitudinal grain direction (0°).

From a practical standpoint, these findings can help optimize the sanding parameters according to the desired size and shape of the wood dust, for example, to produce fiberboards, biofuels, or other processing. The results also highlight the importance of the microstructure of wood in determining the characteristics of the sanding waste.

## Acknowledgments

This research was supported by the grant agency VEGA under project No. 1/0323/23.

## References

- Delviawan, A., Kojima, Y., Kobori, H., Suzuki, S., Aoki, K., & Ogoe, S. (2019). The effect of wood particle size distribution on the mechanical properties of wood-plastic composite. *Journal of Wood Science*, 65(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1846-9>
- Demirci, S. (2019). Determination of the Effect of Cutting Direction and Grit Sizes of the Abrasive on Surface Roughness of Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.) and Oriental Beech (*Fagus orientalis* L.) Woods. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2), 164-172. <https://doi.org/10.17475/kastorman.626270>
- Dzurenda, L. (2000). Analýza rozmerov a tvaru mokrej smrekovej piliny. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 129-137.

Dzurenda, L., Kučerka, M., & Banski, A. (2008). Vplyv techniky na kvalitu deleného a obrábaného dreva (1. vyd.). Technická univerzita vo Zvolene.

Dzurenda, L., & Očkajová, A. (2003). Rozmerová analýza drevného prachu smreka, borovice a duba z procesu rovinného brúsenia. *Obrábanie a spájanie dreva*, 53-57.

Kollmann, F. F. P., & Côté, W. A. (1968). *Principles of Wood Science and Technology: I Solid Wood*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87928-9>

Kučerka, M. (2008). Metodika pre sitovú analýzu piliny z procesov pílenia dreva. *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva*, 155-159.

Marková, I., Očkajová, A., & Mračková, E. (2016). Granulometry of selected wooddust species of dust from orbital sanders. *Wood Research*, 61(6), 983-992.

Mračková, E., Krišťák, L., Kučerka, M., Gaff, M., & Gajtanska, M. (2016). Creation of Wood Dust during Wood Processing: Size Analysis, Dust Separation, and Occupational Health. *BioResources*, 11(1), 209-222. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.209-222>

Mu, B., Wang, H., Hao, X., & Wang, Q. (2018). Morphology, Mechanical Properties and Dimensional Stability of Biomass Particles/High Density Polyethylene Composites: Effect of Species and Composition. *Polymers*, 10(3), 308. <https://doi.org/10.3390/polym10030308>

Nourbakhsh, A., Karegarfard, A., Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2010). Effects of Particle Size and Coupling Agent Concentration on Mechanical Properties of Particulate-filled Polymer Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 23(2), 169-174. <https://doi.org/10.1177/0892705709340962>

Očkajová, A. (1999). Sand belt running time and its wear. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 9-13.

Očkajová, A. (2002). Analýza faktorov v procese plošného brúsenia dreva (1.). Technická univerzita vo Zvolene.

Očkajová, A., & Banski, A. (2013). Granulometria drevného brúsneho prachu z úzkopásovej brúsky. *Acta Facultatis Xylogologiae*, 55, 85-89.

Očkajová, A., Banski, A., & Rončka, J. (Ed.). (2006). Dust in Woodworking Plants and Possibilities of its Reducing. V *Manufacturing Engineering in Time of Information Society* (s. 255-260). Gdansk University of Technology.

Očkajová, A., Barčík, Š., Kučerka, M., Koleda, P., Korčok, M., & Vyhňáliková, Z. (2019). Wood dust granular analysis in the sanding process of thermally modified wood versus its density. *BioResources*, 14(4), 8559-8572. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.8559-8572>

Očkajová, A., Kučerka, M., Kminiak, R., & Banski, A. (2021). Sustainable Manufacturing Process in the Context of Wood Processing by Sanding. *Coatings*, 11(12), 1463. <https://doi.org/10.3390/coatings11121463>

Očkajová, A., Kučerka, M., Krišťák, L., & Igaz, R. (2018). Granulometric Analysis of Sanding Dust from Selected Wood Species. *BioResources*, 13(4), 7481-7495. <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.7481-7495>

Očkajová, A., & Marková, I. (2016). Particular size analysis of selected wood dust species particles generated in the wood working environment. 2(XVIII), 24-31.

Očkajová, A., Siklienka, M., & Barčík, Š. (2003). Sand belt wear in the dependence on sanding direction for beech, alder, oak and pine samples. 539-545.

Rogoziński, T., Chuchala, D., Peździk, M., Orłowski, K. A., Dzurenda, L., & Muzinski, T. (2021). Influence of drying mode and feed per tooth rate on the fine dust creation in pine and beech sawing on a mini sash gang saw. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(1), 91-99. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01608-8>

Welling, I., Lehtimäki, M., Rautio, S., Lähde, T., Enbom, S., Hynynen, P., & Hämeri, K. (2008). Wood Dust Particle and Mass Concentrations and Filtration Efficiency in Sanding of Wood Materials. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(2), 90-98. <https://doi.org/10.1080/15459620802623073>

Zimmermann, T., Thommen, V., Reimann, P., & Hug, H. J. (2006). Ultrastructural appearance of embedded and polished wood cell walls as revealed by Atomic Force Microscopy. *Journal of Structural Biology*, 156(2), 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2006.06.007>

### **List of standards**

STN ISO 3310-1 (2016). Technické požiadavky a skúšobné metódy pre skúšobné sitá z kovovej drôtenej tkaniny s veľkosťou otvorov od 125 mm do 20 µm.

STN 834501 (1997). Ochrana ovzdušia. Základné termíny a definície., 28.

---

*Reviewed paper / Artykuł recenzowany*

*Submitted / Zgłoszony: 30.05.2025*

*Published online / Opublikowany online: 22.12.2025*

## Z ŻAŁOBNEJ KARTY

### **prof. dr hab. Zbigniew Jerzy Werner (1940-2026)**

Z głębokim żalem informujemy o śmierci prof. dr hab. Zbigniewa Jerzego Wernera - wybitnego naukowca w dziedzinie fizyki, cenionego badacza i niezastąpionego mentora.

Profesor Werner całe swoje życie zawodowe poświęcił zaangażowaniu w naukę. Był magistrem i doktorem nauk fizycznych, a następnie doktorem habilitowanym w tej samej dyscyplinie, co świadczy o jego długotrwałym i znaczącym wkładzie w rozwój polskiej fizyki.

Jego liczne publikacje naukowe oraz projekty badawcze były cytowane zarówno w kraju, jak i za granicą. Przez lata współtworzył dorobek NCBJ i środowiska akademickiego, angażując się w realizację badań o wysokim znaczeniu naukowym.

Profesor Werner był człowiekiem wysokiej kultury osobistej, wybitnym uczonym oraz mentorem dla kolejnych pokoleń młodych fizyków - studentów, doktorantów i współpracowników. Jego życzliwość, koleżeństwo, zaangażowanie oraz pasja do nauki zostaną w pamięci wszystkich, którzy mieli zaszczyt z nim współpracować.

Jego odejście to ogromna strata dla całej społeczności naukowej. Pozostanie w naszej pamięci jako człowiek o wielkim sercu, doskonały nauczyciel i twórca inspirujących idei.

W osobie profesora Wernera straciliśmy również Honorowego Członka Rady Naukowej Biuletynu Informacyjnego OB-RPPD.



<https://www.ncbj.gov.pl/zmarl-sp-prof-dr-hab-zbigniew-werner>

## **mgr inż. Jan Ozimek (1940-2025)**

W dniu 23 września 2025 r., po długiej i ciężkiej chorobie zmarł wieloletni Dyrektor Naczelny i Prezes Zarządu Zakładów Płyt Pilśniowych S.A. w Przemyślu (obecnie Fibris S.A.). Pochowany został 26 września 2025 r. na Cmentarzu Zasańskim w Przemyślu.

Jan Ozimek urodził się 12 czerwca 1940 r. w miejscowości Cewków, powiat Lubaczów na Podkarpaciu. W 1959 r. ukończył Technikum Przemysłu Drzewnego w Jarocinie, zdając maturę z tytułem zawodowym technik technolog. W 1969 r. ukończył studia zawodowe na Wydziale Technologii Drewna Szkoły, Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, uzyskując tytuł inżyniera mechanicznej technologii drewna. W 2001 r., na tym samym Wydziale, obronił pracę magisterską pt. „Uwarunkowania uruchomienia produkcji płyt typu wiórowego ze słomy zbożowej w Zakładach Płyt Pilśniowych S.A. w Przemyślu”, napisaną pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Stareckiego.



Pracę zawodową rozpoczął w marcu 1960 r., w Spółdzielni Pracy Przemysłu Drzewnego „Akacja” w Strzegomiu. Po przepracowaniu krótkiego czasu powołano Go do odbycia zasadniczej służby wojskowej. Po zakończeniu służby, z dniem 7 listopada 1962 r. podjął pracę w Zakładach Płyt Pilśniowych w Przemyślu, będących wówczas w budowie. W maju 1972 r. został powołany przez Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Płyt, Sklejek i Zapalek na stanowisko Zastępcy Dyrektora do spraw produkcji w Zakładach Płyt Pilśniowych i Wiórowych w Karlinie, których budowę właśnie kończono. W dniu 16 maja 1981 r. Jan Ozimek został przeniesiony służbowo na stanowisko Zastępcy Dyrektora ds. technicznych ZPP w Przemyślu. Na początku 1985 r., po nagłej śmierci ówczesnego Dyrektora Naczelnego Mariana Domaradzkiego, Jan Ozimek objął kierownictwo Zakładu, zostając jego Dyrektorem Naczelnym. W roku 1994 doprowadził do przekształcenia przedsiębiorstwa państwowego, jakim do tej pory były Zakłady, w Jednoosobową Spółkę Skarbu Państwa, obejmując stanowisko Prezesa Zarządu-Dyrektora Naczelnego Zakładów Płyt Pilśniowych S.A. w Przemyślu. Na przestrzeni 20 lat kierowania Zakładem, a później Spółką, Jan Ozimek nadzorował szeroko zakrojoną modernizację, wynikającą z technicznego zużycia maszyn oraz wdrażanie nowoczesnych rozwiązań techniczno-technologicznych, mających na celu polepszenie jakości, zwiększenie wydajności i obniżenie energochłonności produkowanych metodą mokrą płyt pilśniowych.

Podjęte przez Niego decyzje kierunków modernizacji dotyczyły głównie:

- wężła przygotowania masy włóknistej (we współpracy z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie),
- maszyn odwadniających i pras hydraulicznych, według projektów uznanej w świecie szwedzkiej firmy Sunds Defibrator,

- poszerzenia oferty wyrobów w Dziale Uszlachetniania poprzez zakupy wysokowydajnych formatyzerek włoskiej firmy „SCM” oraz niemieckiej „Holzmy”, umożliwiających pozyskiwanie przeznaczeniowych formatek płyt oraz podjęcie produkcji płyt oklejanych foliami finish i innych form uszlachetniania

Niezależnie od powyższych dokonań, przynoszących wymierne efekty produkcyjne i ekonomiczne, Zakład pod Jego kierownictwem prowadził szereg przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska naturalnego. Na podkreślenie zasługują w szczególności:

- radykalne domknięcie obiegów wodno-ściekowych,
- wdrożenie technologii odzyskiwania rozpuszczalników w procesie lakierowania płyt twardych, w wyniku czego uzyskano 50%-owe zmniejszenie emisji rozpuszczalników do atmosfery,
- kompleksowa modernizacja instalacji odpylających we wszystkich liniach produkcyjnych z wykorzystaniem urządzeń filtracyjnych bardzo wysokiej sprawności.

Z Jego inicjatywy, Spółka, jako jedna z pierwszych w branży płytowej, uzyskała w 1999 r. Certyfikat Zarządzania Jakością wg międzynarodowej normy ISO 9002, a w dalszej kolejności w roku 2003 - Certyfikat Kontroli Pochodzenia Produktu FSC CoC. Na szczególną uwagę zasługuje również fakt, że Prezes Jan Ozimek i kierowana przez Niego Spółka współpracowali z uczelnią SGGW w Warszawie, umożliwiając odbywanie praktyk studentom tej uczelni oraz korzystanie z linii produkcyjnych doktorantom przy realizacji prac naukowych. Jan Ozimek był też jednym z inspiratorów utworzenia Stowarzyszenia Producentów Płyt Drewnopochodnych w Polsce. Wszedł w skład Komitetu Założycielskiego Stowarzyszenia, a następnie został jego członkiem zwyczajnym. Kierowane przez Niego Zakłady zostały zaś członkiem wspierającym.

Jan Ozimek mimo dużego zaangażowania w bieżące funkcjonowanie Zakładu i jego rozwój, znajdował również czas na działalność pozazawodową. Uczestniczył w tworzeniu pierwszej wyższej uczelni w Przemyślu - Wyższej Szkoły Prawa i Administracji, był członkiem Polskiego Związku Łowieckiego, był członkiem wspierającym przemyski klub sportowy MKS Polonia i PZMot w Koszalinie. Od 1993 roku był jednym z 19-tu członków honorowych Towarzystwa Przyjaciół Nauk w Przemyślu, zaliczanego do najstarszych tego typu instytucji na ziemiach polskich. Był Przewodniczącym Rady Wojewódzkiego Funduszu Zdrowia w Rzeszowie a następnie członkiem tej Rady, był członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa, członkiem Towarzystwa Przyjaciół Przemyśla i Regionu, członkiem Rady Społecznej Wyższej Szkoły Prawa i Administracji oraz członkiem Rady Społecznej Szpitala Wojewódzkiego w Przemyślu. Służył też pomocą w wykonywaniu prac podczas budowy obiektów sakralnych. Zarówno w działalności zawodowej jak i poza nią cieszył się wyjątkowym uznaniem i autorytetem.

W dowód uznania Jego zasług i osiągnięć został odznaczony odznaczeniami Państwowymi - Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Srebrnym Krzyżem Zasługi oraz wieloma odznakami branżowymi, medalami i odznakami organizacji społecznych, m.in.: srebrnym i brązowym Medalem Zasługi Łowieckiej, odznaką Zasłużony

dla Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego, srebrną odznaką Za Zasługi w Ochronie Porządku Publicznego oraz odznakami: Srebrny Krzyż Zasługi dla ZHP, srebrną odznaką Przyjaciel Harcerstwa, Przyjaciel Dziecka TPD, Zasłużony dla województw przemyskiego i koszalińskiego, odznaką za Zasługi dla Pożarnictwa oraz odznaką za Krzewienie Kultury Fizycznej przyznaną przez TKKF w Koszalinie.

Całe Jego życie zawodowe i prywatne cechowała wrażliwość, szlachetność, gotowość niesienia pomocy ludziom potrzebującym. Był wzorem zaangażowanego człowieka, przykładowego męża, ojca i dziadka. Na zawsze pozostanie w naszych sercach i pamięci jako człowiek godzien szacunku i wdzięczności.

Roman Satkowski

## STATYSTYKA

### **Analiza rynku płyt drewnopochodnych na świecie na podstawie danych FAOSTAT**

W poprzednim numerze BI 1-2/2025, przedstawiono dane statystyczne z FAOSTAT dotyczące wielkości produkcji (tys. m<sup>3</sup>), importu, eksportu, obliczoną konsumpcję (produkcja + import - eksport) oraz dynamikę wzrostu produkcji z roku na rok, dla różnych rodzajów płyt drewnopochodnych: MDF/HDF, HB, pozostałych płyt pilśniowych (oFB), płyt wiórowych (PB), płyt OSB oraz sklejki i LVL (sklejki). Były to dane za lata 2022-2023 z całego świata z podziałem na kontynenty oraz kraje z największą wielkością produkcji tych płyt.

W obecnym numerze znajdują się dane statystyczne z FAOSTAT, za lata 2023-2024 dotyczące cen importu i eksportu w USD/m<sup>3</sup> obliczonych na podstawie wartości (w tys. USD) /wielkość produkcji (w tys. m<sup>3</sup>). Dane dotyczą tak jak w poprzednich opracowaniach największych producentów na świecie. Dodatkowo podano dynamikę cen z roku na rok. We wszystkich tabelach nazwy państw największych producentów podano tak jak w poprzednich opracowaniach w kolejności od krajów z największą produkcją w 2024 r. do tych z mniejszą.

Zamieszczane dane przez FAOSTAT są oznaczane, jako nieoficjalne, oszacowane, oficjalne itd. I były tak oznaczane w opracowaniach. Ze względu na częste zmiany danych w kolejnych latach tych, które oznaczono, jako oficjalne często, nie warto sugerować się tymi oznaczeniami i nie będą już zamieszczane. Aktualne dane za 2023 r. mają przeważnie te same wartości, co podane w BI 3-4/2024.

Na ceny płyt mają wpływ różne czynniki: ceny drewna i środków chemicznych, wielkość popytu, stawki frachtowe. W analizowanym okresie podobnie jak w poprzednim, po wzrostach cen w latach 2020-2022 spowodowanych pandemią i globalną inflacją oraz w związku z sytuacją związaną z prowadzeniem przez Rosję wojny na Ukrainie na rynku, nastąpiło wyhamowanie popytu, co spowodowało, że ceny płyt drewnopochodnych przeważnie spadły.

Liczby zwykle odzwierciedlają całkowite dochody producentów i importerów (z wyłączeniem kosztów logistyki, podatków i taryf, które zostają uwzględnione w końcowej cenie konsumpcyjnej).

#### **Handel płytami MDF/HDF na świecie**

W latach 2023-2024 ceny płyt MDF/HDF, w krajach z największą produkcją, były bardzo zróżnicowane: importu za m<sup>3</sup> w przedziale 248-837 USD, eksportu 216-801 USD.

W analizowanym okresie Chiny były największym producentem, oraz eksportowały najwięcej płyt MDF/HDF na świecie. Ceny importowanych płyt w Chinach spadły o 6%

z 522 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 490 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Ceny eksportu płyt w tym samym czasie spadły o 9% z 387 do 352 USD/m<sup>3</sup>.

W Turcji w analizowanym okresie wielkość importu płyt MDF/HDF spadła do marginalnej, a ceny wzrosły aż o 50% z 500 do 748 USD/m<sup>3</sup>. Turcja w latach 2023-2024 była jednym z największych eksporterów na świecie, ceny eksportowanych płyt utrzymały się na poziomie 466 USD/m<sup>3</sup>.

Import płyt MDF/HDF w Brazylii w latach 2023-2024 był marginalny z największymi cenami wśród analizowanych krajów, które wznosiły 818-837 USD/m<sup>3</sup>. Ceny eksportu po spadkach w poprzednich latach znacząco wzrosły o 32% 320 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 421 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

**Tabela 1.** Handlowe ceny płyt MDF/HDF największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Ceny w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Ceny w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
Chiny	2023	522		387	
	2024	490	-6%	352	-9%
Turcja	2023	500		466	
	2024	748	50%	466	0%
Brazylia	2023	818		320	
	2024	837	2%	421	32%
Tajlandia	2023	510		216	
	2024	389	-24%	219	1%
Indie	2023	248		230	
	2024	257	4%	255	11%
Rosja	2023	744		249	
	2024	695	-7%	218	-12%
Polska	2023	453		536	
	2024	427	-6%	476	-11%
Niemcy	2023	734		801	
	2024	641	-13%	720	-10%

W Tajlandii w analizowanym okresie wielkość importu płyt MDF/HDF była marginalna z spadkiem cen z 510 do 389 USD/m<sup>3</sup>. Wielkość eksportu tych płyt była druga, co do wielkości na świecie, natomiast ceny najniższe wśród analizowanych krajów, wzrosły nieznacznie o 1% z 216 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 219 USD/m<sup>3</sup> 2024 r.

W Indiach w latach 2023-2024 mimo wysokiej produkcji import płyt MDF był wyższy niż eksport. Ceny importu były najniższe wśród analizowanych krajów wzrosły nieznacznie o 4% z 248 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 257 USD/m<sup>3</sup> 2024 r. Ceny eksportu były podobne również niskie o 11% z 230 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 255 USD/m<sup>3</sup> 2024 r.

Z danych FAOSTAT wynika, że Rosji w analizowanym okresie wielkość importu była nie duża z wysokimi cenami z spadkiem o 7% z 744 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 695 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Eksport był dużo wyższy z niskimi cenami z tendencją spadkową o 12% z 249 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 218 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W Polsce latach 2023-2024 w wielkość importu płyt MDF/HDF nieznacznie spadła, a eksportu wzrosła. Ceny płyt MDF/HDF w tym czasie spadły: import o 6% z 453 USD/m<sup>3</sup> do 427 USD/m<sup>3</sup>, eksport o 11% z 536 USD/m<sup>3</sup> do 476 USD/m<sup>3</sup>.

W Niemczech w latach 2023-2024 pomimo dość wysokiej wielkości produkcji wielkość importu płyt MDF/HDF była najwyższa wśród analizowanych krajów. Ceny importowanych płyt MDF/HDF spadły o 13% z 734 do 641 USD/m<sup>3</sup> pomimo to były jednymi z najwyższych na tle analizowanych krajów. Wielkość eksportu była jedną z wyższych na świecie, ceny eksportowanych płyt MDF/HDF pomimo spadku z 801 USD/m<sup>3</sup> do 720 USD/m<sup>3</sup> były nadal najwyższe wśród krajów z największą produkcją.

### Handel płytami HB na świecie

W latach 2023-2024 ceny płyt HB w krajach z największą produkcją, były bardzo zróżnicowane. Najniższa cena za 1m<sup>3</sup> importowanych płyt była w Zimbabwie - 480 USD, najwyższa w Brazylii - 1150 USD, przy czym w obu krajach import był marginalny; najniższa cena eksportowanych płyt w Rosji - 233 USD, a najwyższa w Chinach - 655 USD. W większości z analizowanych krajów można zaobserwować, że ceny importowanych płyt były dużo wyższe od cen eksportowanych wynika to prawdopodobnie z tego, że największi producenci importowali małe ilości płyt HB.

**Tabela 2.** Handlowe ceny płyt HB największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
Chiny	2023	1076		655	
	2024	1013	-6%	643	-2%
Rosja	2023	819		233	
	2024	726	11%	259	11%
Brazylia	2023	680		255	
	2024	1150	69%	366	44%
Tajlandia	2023	660		391	
	2024	767	16%	384	-2%
USA	2023	620		372	
	2024	612	-1%	328	-12%
Zimbabwe	2023	480		607	
	2024	-	-	595	-2%
Francja	2023	961		427	
	2024	901	-6%	378	-11%

Chiny, które są największym producentem płyt HB na świecie, w analizowanym okresie miały wysokie ceny tych płyt. Wielkość importu była niska, ceny były wysokie z 6% spadkiem z 1076 do 1013 USD/m<sup>3</sup>. Wielkość eksportu była stabilna i wysoka na tle pozostałych krajów, ceny najwyższe wśród analizowanych krajów z niewielkim spadkiem o 2% z 655 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 643 USD/m<sup>3</sup> 2024 r.

W Rosji wielkość importu i eksportu płyt HB utrzymała się na podobnym niskim poziomie. Ceny importowanych płyt HB spadły o 11% z 819 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 726 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r., eksportowanych wzrosły o 11% z 233 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 259 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. pomimo wzrostu były to najniższe ceny płyt HB wśród analizowanych krajów.

W Brazylii w latach 2023-2024 import płyt HB był marginalny z wysokimi cenami 680-1150 USD/m<sup>3</sup>. W analizowanym okresie wielkość eksportu płyt HB była wysoka, a ceny po wcześniejszym spadku (BI 1-2/2024), wzrosły znacząco o 44% z 255 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 366 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

Z danych FAOSTAT wynika, że w Tajlandii w latach 2023-2024 wielkość importu płyt HB była również marginalna. Ceny wzrosły o 8% z 660 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 767 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Eksport płyt był średniej wielkości, ceny spadły nieznacznie z 391 USD w 2023 r. do 384 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W tym samym okresie w USA import płyt HB był najwyższy spośród analizowanych krajów, eksport średniej wielkości. Ceny importowanych płyt HB utrzymały się na podobnym poziomie 612-620 USD/m<sup>3</sup>, a eksportowanych spadły o 12% z 372 do 328 USD/m<sup>3</sup>.

W Zimbabwie w analizowanym okresie zarówno wielkość importu jak i eksportu była marginalna i handel nie miał większego znaczenia.

W Francji w latach 2023-2024 import płyt HB był prawie tak wysoki jak w USA, a eksport najwyższy spośród analizowanych krajów. Ceny płyt HB spadły: importowanych o 6% z 961 do 901 USD/m<sup>3</sup>, eksportowanych o 11% z 427 do 378 USD/m<sup>3</sup>.

### **Handel płytami oFB na świecie**

Ceny płyt oFB w krajach z największą produkcją, w analizowanym okresie były zróżnicowane. Rozbieżność cen była często spowodowana wielkością handlu, ale również zapewne rodzajem płyt. Ceny importowanych płyt oFB wahały się od najniższej 144 USD/m<sup>3</sup> w Niemczech przy największej wielkości importu na świecie, do najwyższej 855 USD za m<sup>3</sup> w Japonii przy marginalnym imporcie. Ceny eksportowanych płyt oFB były również w szerokim zakresie od 115 USD za m<sup>3</sup> w Niemczech gdzie wielkość eksportu była wysoka, do 877 USD za m<sup>3</sup> w Japonii, gdzie był marginalny eksport.

USA produkowały w analizowanym okresie najwięcej płyt oFB na świecie wielkość importu i eksportu była średnia. W latach 2023-2024 ceny importowanych płyt wzrosły o 5% z 305 do 319 USD/m<sup>3</sup>, natomiast eksportowanych spadły o 3% z 268 do 259 USD/m<sup>3</sup>.

W Polsce w analizowanym okresie wielkość importu płyt oFB była niewielka; ceny wzrosły nieznacznie o 3% z 688 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 706 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Z danych FAOSTAT wynika, Polska była w 2024 r. nadal największym eksporterem płyt oFB na świecie. Ceny eksportowanych płyt oFB były niskie z 2% spadkiem z 308 do 302 USD/m<sup>3</sup>.

Niemcy pomimo dużej wielkości produkcji importowały najwięcej płyt oFB na świecie. Ceny importu w okresie 2023-2024 spadły o 7% z 155 do 144 USD/m<sup>3</sup>. Eksport był również dużej wielkości. Ceny eksportu utrzymywały się na niskim poziomie 115-118 USD/m<sup>3</sup>.

W ostatnich latach ceny płyt oFB zarówno importowanych jak i eksportowanych były najniższe wśród analizowanych krajów.

W latach 2023-2024 handel płytami oFB w Chinach był niewielki. Ceny importowanych płyt były średnie nieznacznie spadły o 2% z 298 do 291 USD/m<sup>3</sup>. Ceny eksportowanych płyt oFB przez Chiny były jednymi z najwyższych w analizowanym okresie spadły o 6% z 812 USD/m<sup>3</sup> do 762 USD/m<sup>3</sup>.

**Tabela 3.** Handlowe ceny płyt oFB największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
USA	2023	305		268	
	2024	319	5%	259	-3%
Polska	2023	688		308	
	2024	706	3%	302	-2%
Niemcy	2023	155		115	
	2024	144	-7%	118	3%
Chiny	2023	298		812	
	2024	291	-2%	762	-6%
Tajlandia	2023	190		167	
	2024	165	-13%	173	4%
Japonia	2023	601		417	
	2024	855	42%	877	110%
Kanada	2023	356		311	
	2024	267	-25%	305	-2%

W Tajlandii import płyt oFB był marginalny z niskimi cenami i spadkiem o 13% z 190 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 165 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Eksport był wysoki również z niskimi cenami, które wzrosły nieznacznie o 4% z 167 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 173 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

Japonia, pomimo dość dużej wielkości produkcji miała bardzo ubogi handel płytami oFB. Zarówno eksport jak i import były marginalne. Ceny importowanych płyt oFB kształtowały się w przedziale 601-855 USD/m<sup>3</sup>, a eksportowane 417-877 USD/m<sup>3</sup>.

W Kanadzie w analizowanym okresie wielkość importu i eksportu płyt oFB były średnie. Ceny importowanych płyt oFB spadły znacząco o 25% z 356 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 267 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r., a eksportowanych spadły o 2% z 311 do 305 USD/m<sup>3</sup>.

### Handel płytami PB na świecie

W analizowanym okresie ceny płyt PB w krajach z największą produkcją wykazywały przeważnie tendencje spadkową. Ceny były zróżnicowane, importu znajdowały się w przedziale od 249 do 702 USD/m<sup>3</sup>, eksportu natomiast od 139 do 498 USD/m<sup>3</sup>.

Chiny były w 2024 r. największym producentem płyt PB na świecie, mimo to import był dość wysoki. W analizowanym okresie ceny importowanych płyt PB utrzymały się na poziomie 292-293 USD/m<sup>3</sup>. Eksport płyt PB w Chinach był dużo niższy i pomimo wysokich

spadków nadal z najwyższymi cenami wśród analizowanych krajów. Ceny eksportowanych płyt spadły o 20% z 498 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 397 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W Rosji w analizowanym okresie import płyt PB był niski. Ceny importu były najwyższe wśród analizowanych krajów mimo 25% spadku z 702 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 525 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Wielkość eksportu zmniejszyła się o ok. 30%, ale nadal była stosunkowo wysoka, ceny pomimo wzrostu o 11% były dość niskie i wyniosły 190 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

Polska w latach 2023-2024 mimo wysokiej produkcji była drugim krajem, co do wielkości importu płyt PB na świecie. Ceny importowanych płyt PB były w tym okresie najniższe wśród analizowanych krajów i spadły o 7% z 268 do 249 USD/m<sup>3</sup>. Wielkość eksportu w analizowanym okresie po wcześniejszym spadku (BI 3-4/2024) wzrosła, ceny natomiast spadły o 7% z 452 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 419 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W Tajlandii analizowanym okresie import płyt PB był marginalny z wysokimi cenami w przedziale 564-617 USD/m<sup>3</sup>. Z danych FAOSTAT wynika, że eksport płyt PB był najwyższy na świecie, a ceny były najniższe wśród analizowanych krajów. Ceny eksportowanych płyt PB spadły o 3% z 143 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 139 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

**Tabela 4.** Handlowe ceny płyt PB największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
Chiny	2023	292		498	
	2024	293	0%	397	-20%
Rosja	2023	702		171	
	2024	525	-25%	190	11%
Polska	2023	268		452	
	2024	249	-7%	419	-7%
Tajlandia	2023	617		143	
	2024	564	-9%	139	-3%
USA	2023	333		425	
	2024	318	-5%	377	-11%
Niemcy	2023	379		369	
	2024	331	-13%	331	-10%
Turcja	2023	363		249	
	2024	627	73%	244	-2%

W latach 2022-2023 USA było również jednym z większych importerów płyt PB na świecie, eksport natomiast był kilkakrotnie niższy. Ceny płyt PB spadły, importowanych o 5% z 333 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 318 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r., eksportowanych o 11% z 425 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 377 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

Z danych FAOSTAT wynika, że w analizowanym okresie pomimo dużej wielkości produkcji Niemcy importowały najwięcej płyt PB na świecie. Ceny zarówno importu jak i eksportu płyt PB w latach 2023-2024 spadły. Ceny importowanych płyt spadły o 13% z 379 do 331 USD/m<sup>3</sup>, a eksportowanych o 10% z 369-331 USD/m<sup>3</sup>.

W Turcji w latach 2023-2024 wielkość importu spadła kilkukrotnie do poziomu marginalnego, przez co prawdopodobnie ceny wzrosły aż o 73% z 363 do 627 USD/m<sup>3</sup>. Eksport był w analizowanym okresie średniej wielkości, z niskimi cenami i nieznacznym spadkiem o 2% z 249 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 244 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

### Handel płytami OSB na świecie

W analizowanym okresie w krajach z największą produkcją ceny płyt OSB były zróżnicowane - przeważnie spadały. Ceny importowanych płyt OSB znajdowały się w przedziale 222-849 USD/m<sup>3</sup>, a eksportowanych 184-463 USD/m<sup>3</sup>. W 2024 r. ceny zarówno importowanych i eksportowanych płyt OSB były najniższe w Rosji, a najwyższe ceny importowanych w Kanadzie a eksportowanych w USA.

**Tabela 5.** Handlowe ceny płyt OSB największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
Chiny	2023	264		293	
	2024	259	-2%	271	-8%
USA	2023	326		455	
	2024	361	11%	463	2%
Kanada	2023	753		340	
	2024	849	13%	379	11%
Rosja	2023	239		199	
	2024	222	-7%	184	-8%
Niemcy	2023	324		322	
	2024	294	-9%	295	-8%
Rumunia	2023	280		286	
	2024	239	-15%	267	-7%
Polska	2023	302		289	
	2024	267	-12%	278	-4%

Z danych FAOSTAT wynika, że w 2024 roku Chiny były największym producentem płyt OSB. Wielkość importu w latach 2023-2024 utrzymywała się na podobnym do siebie średnim poziomie, eksportu wzrosła. Ceny płyt OSB były stosunkowo niskie, i dalej spadały importowanych o 2% z 264 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 259 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r., a eksportowanych o 8% z 293 do 271 USD/m<sup>3</sup>.

W analizowanym okresie, USA były drugim, co do wielkości producentem i największym importerem płyt OSB na świecie. Ceny importowanych płyt OSB po wysokim 37% spadku w latach 2022-2023 (BI 3-4/2024), wzrosły o 11% z 326 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 361 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. W tym samym okresie eksport ilościowo był wielokrotnie niższy od importu, a ceny wzrosły o 2% z 455 do 463 USD/m<sup>3</sup>.

W latach 2023-2024 w Kanada znajdowała się na trzecim miejscu, co do wielkości produkcji płyt OSB. Import płyt OSB był niewielki z wysokimi wzrastającymi cenami o 13% z 753 do 849 USD/m<sup>3</sup>. W analizowanym okresie Kanada była największym eksporterem płyt

OSB na świecie. W Kanadzie ceny eksportowanych płyt OSB po wcześniejszym 36% spadku (BI 3-4/2024) wzrosły o 11% z 340 do 379 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W Rosji w latach 2023-2024 r. import płyt OSB był marginalny najniższymi cenami. Eksport niski na tle analizowanych krajów z dużym (ok. 25%) spadkiem. Ceny eksportu były również najniższe i spadły o 8% z 199 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 184 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W latach 2023-2024 Niemcy pomimo dużej produkcji były drugim, co do wielkości na świecie importem płyt OSB. Ceny importowanych płyt OSB spadły o 9% z 324 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 294 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r. Wielkość eksportu tych płyt była również wysoka. Ceny eksportowanych płyt OSB w okresie 2023-2024 były podobne do cen importu i również spadły o 8% z 322 do 295 USD/m<sup>3</sup>.

Rumunia miała w ostatnich latach wysoką wielkość produkcji płyt OSB, podobną do Niemiec. Wielkość eksportu tych płyt w latach 2023-2024 wzrosła tak, że Rumunia była w 2024 r. drugim, co do wielkości eksporterem na świecie. Ceny płyt OSB w analizowanym okresie spadły importowanych o 15% z 280 do 239 USD/m<sup>3</sup>, a eksportowanych o 7% z 286 do 267 USD/m<sup>3</sup>.

Polska w analizowanym okresie była trzecim krajem, co do wielkości importu płyt OSB wśród analizowanych krajów, a piątym na świecie. Ceny importu tych płyt spadły o 12% z 302 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 267 USD/m<sup>3</sup> 2024 r. Ceny eksportowanych płyt OSB spadły o 4% z 289 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 278 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

### **Handel sklejkami i LVL na świecie**

W latach 2023-2024 ceny sklejek w krajach z największą produkcją, były zróżnicowane: import za 1 m<sup>3</sup> w przedziale 400 - 1690 USD, eksport 248 - 544 USD. W większości z analizowanych krajów można zaobserwować wzrost cen sklejek. W 2024 r. najniższe ceny importowanych sklejek miały Indie, a najwyższe - Brazylia. W 2024 r. najniższe ceny za m<sup>3</sup> eksportu sklejek miały Indie, a najwyższe - Indonezja.

Chiny były w latach 2023-2024 największym producentem i eksporterem sklejek na świecie, import również był dość wysoki. W analizowanym okresie ceny w handlu sklejkami w Chinach wzrosły, importowane o 4% z 532 do 552 USD/m<sup>3</sup>, eksportowane o 13% z 441 do 499 USD/m<sup>3</sup>.

W Indiach w analizowanym okresie wielkość importu sklejek nie była wysoka, ceny spadły o 11% z 450 do 450 USD/m<sup>3</sup>. Wielkość eksportu była niska z niskimi cenami i spadkiem o 24% z 326 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 248 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

W analizowanym okresie USA były największym importerem sklejek na świecie. W latach 2023-2024 ceny importowanych sklejek wzrosły o 5% z 635 do 669 USD/m<sup>3</sup>. Ceny eksportowanych sklejek spadły o 2% z 457 do 447 USD/m<sup>3</sup>.

Indonezja była w analizowanym okresie czwartym, co do wielkości producentem i drugim z największych eksporterów sklejek na świecie. Import był niewielki ceny spadły o 25% z 718 do 537 USD/m<sup>3</sup>. Ceny eksportowanych sklejek wzrosły o 6% z 513 do 544 USD/m<sup>3</sup>.

W Brazylii import sklejk był marginalny z wysokimi cenami w przedziale 596-1690 USD/m<sup>3</sup>. Eksport natomiast wysoki czwarty, co do wielkości na świecie. Ceny eksportowanych sklejek wzrosły 5% z 353 USD/m<sup>3</sup> w 2023 r. do 371 USD/m<sup>3</sup> w 2024 r.

**Tabela 6.** Handlowe ceny sklejek i LVL największych producentów w latach 2023-2024

Kraj	Rok	Import		Eksport	
		Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen	Cena w USD/m <sup>3</sup>	Dynamika cen
Chiny	2023	532		441	
	2024	552	4%	499	13%
Indie	2023	450		326	
	2024	400	-11%	248	-24%
USA	2023	635		457	
	2024	669	5%	447	-2%
Indonezja	2023	718		513	
	2024	537	-25%	544	6%
Brazylia	2023	596		353	
	2024	1690	184%	371	5%
Rosja	2023	761		438	
	2024	506	-34%	432	-1%
Wietnam	2023	614		450	
	2024	564	-8%	508	13%

W 2024 r. jednym z większych producentów oraz eksporterów sklejk była Rosja. Import był niewielki z wysokimi cenami w przedziale 506-761 USD/m<sup>3</sup>. Cena eksportowanych sklejek spadła nieznacznie o 1% z 438 do 432 USD/m<sup>3</sup>.

W Wietnamie mimo wysokiej wielkości produkcji sklejk, wielkość importu była również wysoka. Ceny importowanych sklejek w latach 2023-2024 spadły o 8% z 614 do 564 USD/m<sup>3</sup>. W analizowanym okresie w Wietnamie eksport sklejek był ilościowo wysoki, trzeci, co do wielkości na świecie. Ceny eksportu wzrosły o 13% z 450 do 508 USD/m<sup>3</sup>.

### Podsumowanie

Największymi handlowcami płyt drewnopochodnych na świecie są Chiny i USA. W Europie znaczącym handlem mogą się zaszczycić głównie kraje z dużą wielkością produkcji, czyli Niemcy i Polska. W 2024 r. na rynku płyt drewnopochodnych widoczne jest dalsze osłabienie gospodarcze i spadki cen większości płyt drewnopochodnych, które były spowodowane zapewne wcześniejszą wysoką inflacją, spadkiem popytu i wzrostem kosztów produkcji. Jedynie w przypadku sklejek w większości nastąpił wzrost cen, ale może wynikać z zmiany FAOSTAT i połączenia sklejk z LVL w jedną pozycję.

Maria Ostrowska

## KONFERENCJE, ZEBRANIA, WYDARZENIA

### 7<sup>th</sup> International Conference on Wood Composites Modification and Machining

W dniach 3-5 września 2025 r. w Ośrodku Szkoleniowo-Wypoczynkowym SGGW „Marymont” w Kirach k. Zakopanego już po raz siódmy z kolei odbyła się Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Modyfikacja i Obróbka Kompozytów Drzewnych” (Fot. 1). Wydarzenie to odbywa się cyklicznie co dwa lata. Organizatorami konferencji są Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW w Warszawie oraz Ośrodek Badawczo Rozwojowy Przemysłu Płyt Drewnopochodnych sp. z o.o. w Czarnej Wodzie.



**Fot. 1.** Otwarcie konferencji przez przewodniczącego - dr hab. inż. Piotra Borysiuka, prof. SGGW

W konferencji czynny udział wzięły 34 osoby zarówno z instytucji naukowych jak i otoczenia gospodarczego (Fot. 1 i 2).

Spośród jednostek naukowo-badawczych, poza Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, reprezentowane były: University of Forestry z Sofii, Technical

University ze Zvolenia, VIPO a. s. z Partizánske, Matej Bel University z Bańskiej Bystrzycy, Slovak Academy of Sciences z Bratisławy, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologii Drewna Łukasiewicz - Poznański Instytut Technologiczny, Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku.

Na konferencji byli również obecni przedstawiciele firm: IKEA Orla, Nowy Styl sp. z o.o., Shim-Pol A.M. Borzymowski oraz Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie.



**Fot. 2.** Uczestnicy konferencji - tradycyjne zdjęcie grupowe przed wejściem do Ośrodka Szkoleniowo-Wypoczynkowego SGGW „Marymont” w Kirach

W ciągu dwóch dni uczestnicy konferencji w pięciu sesjach naukowych wysłuchali łącznie 22 referatów, w tym 14 przedstawionych przez uczestników zagranicznych. Wszystkie zaprezentowane referaty dotyczyły szeroko rozumianej modyfikacji drewna i płyt drewnopochodnych, właściwości tych materiałów oraz ich obróbki maszynowej. W ramach konferencji przeprowadzono również sesję dla przemysłu, w ramach której zaprezentowano następujące referaty:

- Badania z wysokim naprężeniem dynamicznym dla inżynierii materiałowej za pomocą maszyny Shimadzu HITS-X, kamery HPV-X2 i cyfrowej korelacji obrazu - wygłoszony przez Jana Podgórskiego z Shim-Pol,
- Biomasa lignocelulozowa jako surowiec do produkcji płyt wiórowych - wygłoszony przez dr inż. Radosława Aurigę z SGGW,
- Drewno - surowiec strategiczny dla polskiej gospodarki - wygłoszony przez dr hab. inż. Pawła Kozakiewicza, prof. SGGW i dr hab. inż. Piotra Borysiuk, prof. SGGW,
- Materiały narzędziowe w maszynowej obróbce tworzyw drzewnych - wygłoszony przez dr inż. Marka Barlaka z NCBJ.

Po trudach konferencji uczestnicy mogli zrelaksować się i wypocząć podziwiając piękno przyrody Pienińskiego Parku Narodowego, podczas spływu przełomem Dunajca (Fot. 3).



**Fot. 3.** Uczestnicy konferencji w trakcie spływu przełomem Dunajca

Więcej informacji o konferencji (m.in. szczegółowy program czy też Book of abstract wygłoszonych prezentacji) dostępne jest na stronie Instytutu Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW w Warszawie: <https://indm.sggw.edu.pl/instytut-nauk-drzewnych-i-meblarstwa/nauka-w-instytucie/konferencje/konferencja-kiry-2025/>

Piotr Borysiuk

## **Uroczysta inauguracja roku akad. 2025/2026 na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie**

W dniu 1 października 2025 r. odbyła się uroczysta inauguracja roku akademickiego 2025/2026 na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie. W uroczystości udział wzięli obecni i emerytowani pracownicy Wydziału Technologii Drewna i Instytutu Nauk Drzewnych i Meblarstwa, przedstawiciele samorządu studentów WTD, liczni zaproszeni goście, w tym reprezentanci innych Wydziałów i Instytutów SGGW oraz nowo przyjęci studenci.

W imieniu władz uczelni inaugurację zaszczyił swoją obecnością Prorektor ds. dydaktyki, prof. dr hab. Jarosław Gołębiowski (Fot. 1). Wśród zaproszonych gości, w uroczystości udział wzięli także przedstawiciele otoczenia administracyjno-gospodarczego, z którymi Wydział Technologii Drewna SGGW utrzymuje stałe kontakty, a w szczególności: Pani dr Małgorzata Wejer - Dyrektor ds. Badań i Rozwoju firmy MGJ Sp z o.o., Pan dr inż. Tomasz Wiktorski - prezes firmy B+R Studio, Pan dr inż. Andrzej Kundzewicz - Przewodniczący Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa, Pan dr Tomasz Gawroński - Prezes Zarządu firmy Fide Sp. z o.o., Pan dr inż. Marek Barlak - przedstawiciel Narodowego Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku, Pani Joanna Groszkowska - Dyrektor Personalna oraz Pani Joanna Kamińska - Specjalistka ds. rekrutacji i employer branding z firmy Mardom Pro, Pan Michał Augustyńczyk - Sales Marketing Manager z firmy Leitz Polska, Pan Marcin Nowacki - Product Sales Director z firmy Technika Group, Pan Maciej Trzoch - Dyrektor Zarządzający firmy Kiiito Polska Sp. z o.o., Pan Leszek Danecki - Prezes Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie oraz Pan Rafał Miastowski - Burmistrz Dzielnicy Warszawa Mokotów (absolwent WTD).

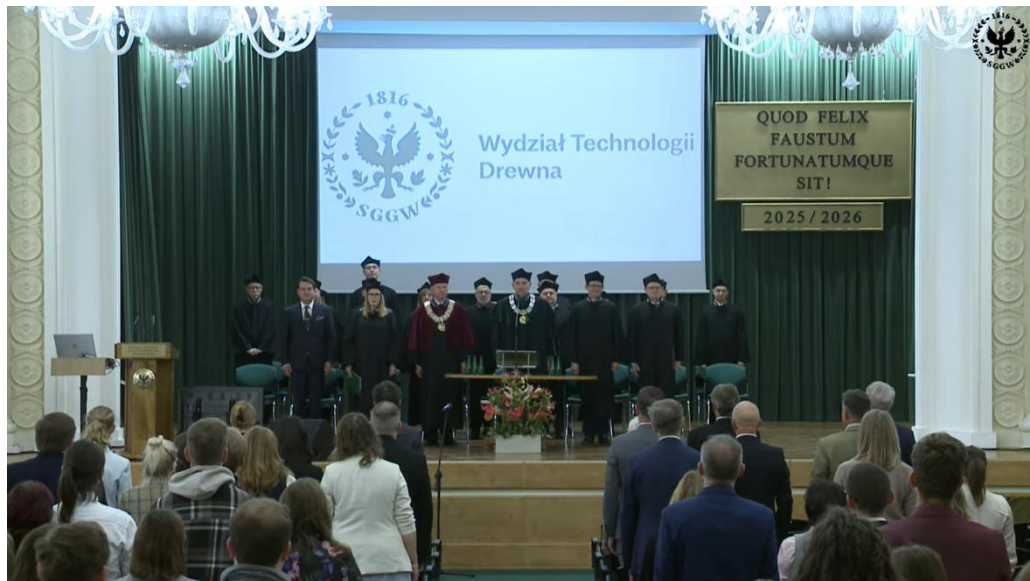
W trakcie uroczystości przemówienia okolicznościowe wygłosili: Dziekan Wydziału dr hab. inż. Piotr Borysiuk, prof. SGGW, Prorektor ds. dydaktyki prof. dr hab. Jarosław Gołębiowski, Dyrektor Instytutu Nauk Drzewnych i Meblarstwa dr hab. inż. Paweł Kozakiewicz, prof. SGGW oraz Przewodniczący Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa dr inż. Andrzej Kundzewicz.

Głównym punktem uroczystości była immatrykulacja nowo przyjętych studentów, którą poprowadziła Prodziekan WTD dr hab. inż. Izabela Burawska.

W rozpoczynającym się roku akademickim, na obydwu kierunkach studiów prowadzonych na WTD: Technologia drewna i Meblarstwo, na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych I stopnia naukę rozpoczęło ponad 150 nowych studentów.

Do społeczności Wydziału, a przede wszystkim nowoprzyjętych studentów swoje słowa skierowała również Pan Mikołaj Kuc, Przewodniczący Samorządu Studentów WTD. W trakcie uroczystości, zgodnie z wieloletnią tradycją, Dyrektor INDM wraz z Prorektorem SGGW wręczyli nagrody przyznane przez JM Rektora SGGW pracownikom INDM. Z kolei

Dziekan WTD wręczył okolicznościowe dyplomy wyróżniającym się studentom oraz laureatkom konkursu fotograficznego „WTD na praktykach”.



**Fot. 1.** Władze Uczelni i Wydziału oraz prelegent na inauguracji roku akademickiego, pierwszy rząd od lewej: dr inż. Tomasz Wiktorski - autor wykładu inauguracyjnego, dr hab. inż. Izabela Burawska - Prodziekan Wydziału, prof. dr hab. Jarosław Gołębiowski - Prorektor ds. dydaktyki SGGW, dr hab. inż. Piotr Borysiuk, prof. SGGW - Dziekan Wydziału, dr hab. inż. Paweł Kozakiewicz, prof. SGGW - Dyrektor INDM, prof. dr hab. Janusz Zawadzki - Zastępca Dyrektora INDM

Po immatrykulacji studentów oraz wręczeniu nagród i dyplomów wykład inauguracyjny pt.: „Polskie meble na świecie z perspektywy Absolwenta WTD SGGW” wygłosił Pan dr inż. Tomasz Wiktorski z firmy B+R Studio - nasz absolwent.

Po uroczystej inauguracji pracownicy INDM oraz zaproszeni goście mieli okazję porozmawiać i wymienić poglądy podczas spotkania okolicznościowego na Wydziale.

Relację z inauguracji roku akademickiego na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie można obejrzeć za pośrednictwem kanału YouTube pod adresem: [https://www.youtube.com/watch?v=HBXgmiY\\_cPQ&t=1405s](https://www.youtube.com/watch?v=HBXgmiY_cPQ&t=1405s).

Piotr Borysiuk

## **Zaproszenie na Szkolenie i Konferencję „Wybrane aspekty produkcji tworzyw drzewnych”**

Tradycyjnym już zwyczajem Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Płyt Drewnopochodnych sp. z o.o. w Czarnej Wodzie organizuje cykliczne Szkolenie seminaryjne oraz Konferencję dla pracowników szczebla kierowniczego i technicznego zakładów branży drzewnej.

Tegoroczne spotkanie odbędzie się w dniach 16-17 kwietnia 2026 r. i nosi tytuł „Wybrane aspekty produkcji tworzyw drzewnych”.

Zajęcia szkoleniowe będą prowadzone przez referentów z:

- Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
- Narodowego Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku,
- Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu,
- Politechniki Rzeszowskiej,
- Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie,
- Firmy PORTA,
- Firmy KUPER,
- Firmy Drzewa Tlenowe sp. z o.o.

W trakcie dwudniowych zajęć zostaną poruszone następujące zagadnienia:

- Wybrane aspekty określania wytrzymałości i odporności spoin klejowych,
- Algorytmy uczenia maszynowego (ML) optymalizujące obróbkę CNC materiałów drzewnych,
- Plantacje drzew tlenowych - jak połączyć ekologię rolnictwa, ochronę klimatu i produkcję drewna,
- Retrofitting linii technologicznych do produkcji drzwi drewnianych z wykorzystaniem wyników B+R projektu PortaFRAME,
- Zrównoważony rozwój przedsiębiorstwa PORTA KMI Poland S.A. - wykorzystanie instalacji OZE i inteligentnych systemów odpylania w produkcji stolarki otworowej,
- Wpływ parametrów obróbki na zjawisko tryboelektryfikacji podczas wiercenia i frezowania kompozytów drewnopochodnych,
- Model i analiza przewidywania wytrzymałości na wibracje kompozytów drewnopochodnych,
- Biodegradowalne kompozyty z surowców naturalnych w zastosowaniach opakowaniowych,
- Materiały narzędziowe w maszynowej obróbce tworzyw drzewnych,
- Potencjalne zastosowanie praktyczne biopolimerów w przemyśle,
- Tworzywa sztuczne a wyroby drewnopochodne. Konkurencja czy współistnienie,
- Sprawdzone techniki spajania łuszczy przy produkcji sklejk - firma KUPER,

- Centrum Drewna i Konstrukcji Drewnianych - kompleksowe wsparcie badawcze, legislacyjne i szkoleniowe,
- Wybrane właściwości fizyczne, mechaniczne i użytkowe sklejek oraz metody ich modyfikacji,
- WPC - technologia produkcji, właściwości i zastosowanie.

Po referatach przewidziana jest dyskusja oraz wymiana poglądów między uczestnikami szkolenia.

Szkolenie odbędzie się w Zajeździe Fojutowo, 89-504 Legbąd, [www.zajazd-fojutowo.pl](http://www.zajazd-fojutowo.pl).

Rejestracja uczestników szkolenia prowadzona będzie od godziny 16.00 w dniu 15 kwietnia 2026 r. oraz w godzinach porannych następnego dnia (do godz. 9.00).

Szkolenie rozpocznie się 16 kwietnia o godz. 9.00, a zakończy 17 kwietnia ok. godziny 14.00.

Opłata za udział w Seminarium obejmuje uczestnictwo w wykładach, materiały szkoleniowe, 2 noclegi w pokojach 2- i 3-osobowych oraz wyżywienie (od kolacji 15.04. do obiadu 17.04.) i **wynosi 2150 zł**. W przypadku zgłoszenia uczestnictwa więcej niż jednej osoby, koszt jednostkowy udziału dla każdej następnej osoby będzie wynosił **1950 zł**. Możliwa jest rezerwacja pokoju 1-osobowego za dodatkową dopłatą 100 zł. **Do podanych kwot zostanie doliczony podatek VAT w wysokości 23%.**

Szczegółowy program Seminarium zostanie dostarczony uczestnikom podczas rejestracji. W związku z koniecznością wcześniejszej rezerwacji miejsc noclegowych w Zajeździe prosimy o zgłoszenie uczestnictwa oraz dokonanie wpłaty na konto Ośrodka, **do dnia 6 marca 2026 r.**

**Bank Spółdzielczy w Czernsku nr: 58 8147 0002 0011 2006 2000 0010**

Faktury za udział w Seminarium prześlemy uczestnikom na Szkoleniu.

Z poważaniem

Leszek Danecki

