

Wersja drukowana: ISSN 0209-2190

Wersja online: ISSN 2657-8484

BIULETYN INFORMACYJNY

OŚRODKA BADAWCZO-ROZWOJOWEGO

PRZEMYSŁU PŁYT DREWNOPOCHODNYCH

w Czarnej Wodzie

1-2/2025



Biuletyn Informacyjny

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

1 - 2
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, obrppd@obrppd.com.pl

SPIS TREŚCI

I. Artykuły naukowe.....	5
Strength characteristics of furniture elements with particleboard cutting waste core.....	5
Identyfikacja uszkodzeń w procesie wiercenia CFRP/sklejki na podstawie analizy obrazu	18
Optymalizacja struktury sieci neuronowej do oceny zużycia narzędzia w procesie wiercenia laminatów CFRP/sklejka	28
II. Artykuły popularno-naukowe	39
Modyfikacja drewna krajowego - szansa rozwoju oferty produktowej i wzmocnienia konkurencyjności	39
III. Statystyka	44
IV. Konferencje, zebrania, wydarzenia	58

Strength characteristics of furniture elements with particleboard cutting waste core

Krasimira Atanasova^{a,*}, ORCID: 0000-0003-4660-1218
Dimitar Angelski^a, ORCID: 0000-0001-6266-9306
Dobriyan Dobriyanov^a
Tsacho Tsachev^a

^aUniversity of Forestry, Faculty of Forest Industry, 10 Kliment Ohridski Blvd., 1797 Sofia, Bulgaria

*Corresponding author: Krasimira Atanasova; email: k_atanasova@ltu.bg

Abstract

The circular economy principles for environmentally friendly and waste-free production can be effectively applied to furniture production by utilizing cutting particleboard waste. The aim of the presented study is to establish the influence of the laminating sheet characteristics on the bending strength and modulus of elasticity of three-layer elements with a core formed from laminated particleboard cutting waste. For lamination, medium density fibreboard (MDF) with a thickness of 2.7 and 4 mm, one-sided veneered MDF with a total thickness of 3.2 mm, and three-layer poplar plywood with a thickness of 3 and 4 mm were used. The lamination was carried out with polyvinyl acetate adhesive at a temperature of 50°C and a specific pressure of 0.075 MPa. The obtained dependencies are presented in tabular and graphical form.

Keywords: particleboard cutting waste, furniture elements, lamination, MDF, plywood

Introduction

The growing shortage of raw materials and resources for furniture production (<https://ec.europa.eu/eurostat/>) necessitates the effective application of circular economy principles for environmentally friendly and zero-waste manufacturing. Nevertheless, successfully implemented circular business models, together with product circular design strategies, remain rare (Pei et al., 2024). A potential gap exists between the positive attitude toward the circular economy and the practical implementation of its principles, as recycling, incineration, and landfilling still take precedence over practices related to reuse (Barbaritano et al., 2019).

The production process in small-scale furniture enterprises specializing in case furniture is characterized by the generation of large amounts of waste from the cutting of laminated

particleboards. These waste pieces cannot be incorporated into products due to their unsuitable colours, textures, and sizes. Their storage occupies valuable production space and complicates the workflow (Angelski et al., 2024). Moreover, the waste represents an unrealized financial resource, as the invested materials and costs are practically unrecoverable (Takacs et al., 2020).

Currently, the main approach to solving these issues involves returning the waste to laminated particleboards manufacturing plants, where it is milled for reuse (Luo et al., 2024). This process requires additional time and energy for transport and reprocessing. The re-milling particles are significantly smaller, resulting in unprofitable production of fine fractions (Wronka and Kowaluk, 2022). The particleboards produced in this way exhibit reduced mechanical properties (Luo et al., 2024). The increased laminate content in the recycled particleboard contributes to faster tool wear and lower machining precision (Król et al., 2022). When particleboards are produced from re-milled particles that have undergone two recovery cycles (i.e. triple milling), the resulting product exhibits unacceptable mechanical properties (Wronka and Kowaluk, 2022).

One of the most negative aspects of the production and use of engineered wood panels, including particleboards, is the emission of formaldehyde. Formaldehyde emission from conventional thermosetting resins is one of the most concerning issues associated with engineered wood panels (Antov et al., 2020). Currently, about 95% of adhesives used in the production of wood-based panels are formaldehyde-based resins (Kumar and Pizzi, 2019).

It is evident that re-milling should be the last resort for utilizing laminated particleboards cutting waste.

As early as 2009, Daian and Ozarska proposed a potentially effective business model based on converting wood waste into profit through on-site processing into high-value products. Therefore, it is necessary to develop and implement technologies for utilizing wood-based panel waste within furniture factories.

In 2024 Angelski et al. developed a technology for producing three-layer elements with a core made from waste parts generated from the cutting of laminated particleboards and cladding layers made of high-pressure laminate (HPL). Several problems related to the different thicknesses and decors of the waste pieces have been effectively resolved. Low-energy lamination regimes have been proposed. It has been demonstrated that the use of polyvinyl acetate adhesives ensures sufficiently high values for bending strength and modulus of elasticity of the laminated elements. A specific feature of the proposed technology is its focus on elements with a predetermined application. This allows for the development of rational schemes for arranging the core details. However, questions remain regarding the production of elements with surface layers exhibiting other decors and textures that are in demand in interior applications.

Aim and scope of work

The aim of the present study is to determine the influence of the laminating sheet characteristics on the bending strength and modulus of elasticity of three-layer elements with cores made from laminated particleboard cutting waste, and to propose effective core arrangement schemes based on the dimensional stability of the elements and the manufacturability of their production.

Materials and Methods (Experimental)

Waste pieces from laminated particleboards with various decorative finishes, a thickness of 18 mm, and a density of $675 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, were used for the core details. Some of the pieces had scratched or partially damaged surfaces. They were cut into strips with a uniform width of 23 mm and lengths determined by the arrangement scheme and the requirements of CEN EN 310:1993. The following arrangement schemes were adopted: In Scheme A, the core details were oriented along the length (L) of the element. In Scheme P, the core details were oriented perpendicular to the length (L) of the element. The combined arrangement scheme (Scheme C) is shown in Fig. 1.

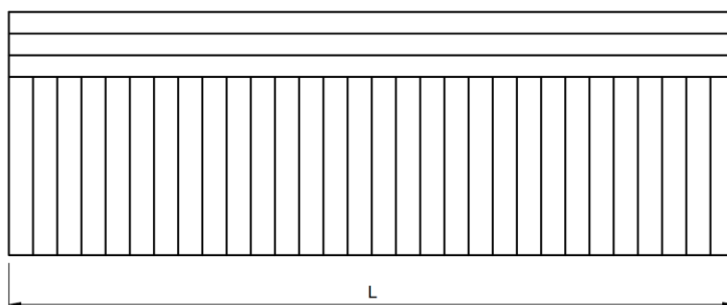


Fig. 1. Combined arrangement scheme (Scheme C) for the core details

The details were arranged side by side with their laminated sides facing each other, without being glued together and then laminated (Angelski et al., 2024).

Laminating sheets were selected from commercially available materials. According to supplier specifications, these materials comply with the requirements of European standards governing their performance characteristics. The type, thickness, and density of the materials chosen for the laminating sheets, as well as the dimensions of the tested specimens for Schemes A and P are summarized in Table 1.

Table 1. Type, thickness, and density of the laminate sheets. Dimensions of the specimens (length × width × thickness) for Schemes A and P

Material type and thickness	Series designation	Density, kg·m ⁻³	Dimensions, mm
Medium density fibreboard, 2.7 mm, uncoated	MDF 2.7	840	600 × 50 × 28.4
Medium density fibreboard, 4 mm, uncoated	MDF 4	840	650 × 50 × 31
Medium density fibreboard, 2.7 mm, one-sided oak veneer 0.6 mm (total thickness 3.2 mm)	MDF _v 3.2	890	650 × 50 × 29.4
Poplar plywood, 3-layer, 3 mm, grade AB/BB	PL 3	430	600 × 50 × 29
Poplar plywood, 3-layer, 4 mm, grade B/BB	PL 4	410	650 × 50 × 31

All materials were conditioned for one month at 20±2°C and 60 ±5 % R.H.

A polyvinyl acetate (PVA) dispersion adhesive was used, with the following parameters: density of 1.08 g·cm⁻³; solid content of 50%; pressing time of 4 minutes at a bonding temperature of 50°C; open assembly time between 5 and 8 minutes; application amount of 150-200 g·m⁻² (<https://www.hranipex.lt/en/>).

The elements were laminated using a manually loaded hydraulic press. The adhesive was applied to the laminating sheets. The lamination process conditions for each material type are presented in Table 2.

Table 2. Laminating process conditions

Series designation	Process conditions					
	Adhesive application amount, g·m ⁻²	Temperature, °C	Specific pressure, MPa	Loading on the press, %	Hydraulic pressure, bar	Pressing time, min.
MDF 2.7	150	50	0.075	49	72	7
MDF 4	150	50	0.075	53	80	8
MDF _v 3.2	150	50	0.075	52	78	7
PL 3	175	50	0.075	48	70	7
PL 4	175	50	0.075	52	78	8

A single element was produced for each type of laminate sheet, and each arrangement scheme of the core details.

After conditioning (24 hours at 22°C and 60 ±2% R.H.), the resulting plate elements were cut into five specimens with the same structure, in accordance with the requirements of CEN EN 310:1993, following Schemes A and P. The elements prepared using the combined arrangement scheme (Scheme C) were cut to the same lengths but with a width of 99 mm.

The MDF_v specimens were divided into subgroups and labelled as follows:

- AA - veneer orientation and the orientation of the core details are parallel to the specimen length (L),
- AP - veneer orientation is parallel, while the core details are oriented perpendicular to the specimen length (L),
- PA - veneer orientation is perpendicular, while the core details are oriented parallel to the specimen length (L),
- PP - both the veneer and core details are oriented perpendicular to the specimen length (L),

where the orientation of the veneer aligns with the direction of the wood grain within the veneer sheet.

The bending strength, modulus of elasticity, and dimensional stability of the obtained elements were evaluated.

The surface appearance was assessed organoleptically.

The bending strength f_m , $N \cdot mm^{-2}$ and modulus of elasticity, $N \cdot mm^{-2}$ were determined in accordance with CEN EN 310:1993.

The degree of warping of the obtained elements was determined using a template.

For the research, a Universal testing machine with computer control WDW - 50E, manufactured by the company HST, China, 2022, was used. The measurements were carried out at a load application speed of $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

The experimental data were statistically processed using the accompanying software (MaxTest, USA).

Results and Discussion

The obtained elements from all series exhibited good surface appearance and uniformly arranged core details. An increase in the assembly time was observed for Schemes A and P due to the need for alignment of the core details.

No displacement between the core details was observed during the placement of the units in the press.

No peeling of the laminate sheets was observed during testing.

Table 3 presents the values of the coefficient of variation $V, \%$ and the accuracy indicator $p, \%$ for each series of specimens.

The values obtained for bending strength and modulus of elasticity for all series exceeded the requirements specified in EN 312:2010. Compared to the results recorded for factory-laminated particleboard with a thickness of 25 mm (Angelski et al., 2024), the bending strength was comparable or higher, while the modulus of elasticity was lower.

Table 3. The coefficient of variation V [%] and the accuracy index p [%] for each series of test specimens

Series	Number of specimens	Variation coefficient, V [%]		Accuracy index, p [%]	
		Bending strength	Modulus of elasticity	Bending strength	Modulus of elasticity
MDF 2.7A	5	4.61	1.20	2.66	0.69
MDF 2.7P	5	4.29	0.81	2.47	0.47
MDF 2.7C	5	2.18	5.20	1.26	3.00
MDF 4A	5	0.85	1.43	0.49	0.82
MDF 4P	5	5.88	1.00	2.94	0.50
MDF 4C	5	0.67	1.39	0.39	0.80
MDF _V 3.2 AA	5	4.21	1.36	2.43	0.78
MDF _V 3.2 AP	5	16.46	0.62	5.88	0.36
MDF _V 3.2 PA	5	3.75	2.17	5.20	3.06
MDF _V 3.2 PP	5	2.31	0.76	1.33	0.44
PL 3A	5	8.93	4.14	5.06	2.39
PL 3P	5	8.48	4.71	4.70	2.72
PL 4A	5	10.41	6.01	3.14	1.81
PL 4P	5	15.70	9.64	4.90	2.89

The results of the bending strength and modulus of elasticity tests for specimens laminated with HPL (Angelski et al., 2024) and MDF with a thickness of 2.7 mm are presented in Table 4.

Table 4. Bending strength and modulus of elasticity for specimens laminated with HPL, (Angelski et al., 2024) and MDF with a thickness of 2.7 mm (average values), under different core details arrangement schemes

Type of laminate sheets, arrangement scheme of the core details	HPL			MDF 2.7			Change, %		
	Scheme A	Scheme P	Scheme C	Scheme A	Scheme P	Scheme C	Scheme A	Scheme P	Scheme C
Specimen Wight, mm	50	50	99	50	50	99	50	50	99
Bending strength f_m , N·mm ⁻²	19.58	8.28	14.06	19.43	14.00	16.13	-0.75	69.08	14.75
Modulus of elasticity, N·mm ⁻²	3031.6	1454.4	2093.67	2525.67	1607.00	1986.33	-16.69	10.49	-5.13

According to the results presented in Table 3, it can be observed that replacing the HPL with MDF sheets of 2.7 mm thickness leads to a 69% increase in the bending strength of elements with perpendicularly oriented core details, eliminating the need for crosswise arrangement. After assessing the shape of the specimens, a warping deflection of 0.6 mm·m⁻¹ was recorded for elements with a core arrangement according to Scheme P (Fig. 2). This value is lower than that for elements laminated with HPL, as well as below the allowable limit (Kavalov and Angelski, 2014). No warping was detected in the specimens from the other series.

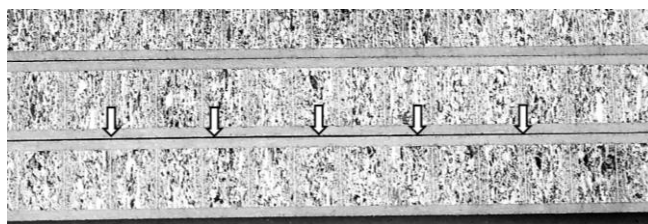


Fig. 2. The element warping

To stabilize the shape and improve the manufacturability of the core arrangement, it is recommended to place two perpendicularly oriented core details at the ends of the element (Fig. 3).

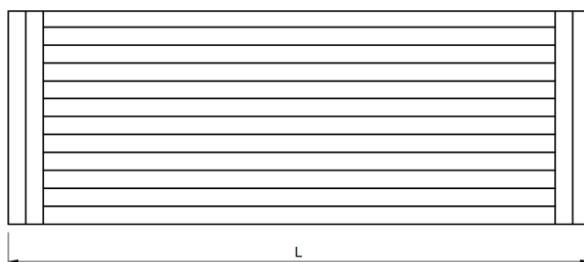


Fig. 3. Recommended arrangement scheme of the core details

An analysis of the failure patterns in the specimens with core details arrangement according to Scheme P revealed a higher percentage of fractures occurring within the individual details rather than between them (Fig. 4A). In all experiments, the accuracy indicator p was below 3%, indicating that the fracture location had no significant effect on the bending strength values. The structural delamination of MDF used as cladding sheets under compressive load indicates that the internal structure of the MDF is the weakest part of the elements. For the core details oriented along the length and those in the combined arrangement (Fig. 4B), the observations were identical.

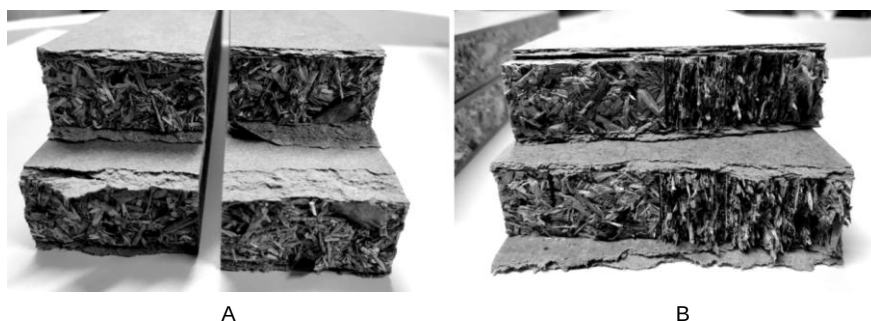


Fig. 4. Destruction of elements laminated with MDF under bending stress: A - Elements from Series P; B - Elements from Series C

The results of the bending strength and modulus of elasticity tests for specimens from series MDF 2.7 and MDF 4 are presented in Table 5.

Table 5. Bending strength and modulus of elasticity for specimens laminated with 2.7 mm and 4 mm MDF (average values), under different core detail arrangement schemes

Type of laminate sheets, arrangement scheme of the core details	MDF 2.7			MDF 4			Change, %		
	Scheme A	Scheme P	Scheme C	Scheme A	Scheme P	Scheme C	Scheme A	Scheme P	Scheme C
Specimen Wight, mm	50	50	99	50	50	99	50	50	99
Bending strength f_m , $N \cdot mm^{-2}$	19.43	14.00	16.13	24.53	18.075	22.67	26.24	29.11	40.50
Modulus of elasticity, $N \cdot mm^{-2}$	2525.67	1607.00	1986.33	2875.00	2054.75	2524.67	13.83	27.86	27.10

The results presented in Table 4 show that increasing the thickness of the MDF cladding sheet from 2.7 mm to 4 mm results in an increase in bending strength and modulus of elasticity in the range of 14% to 41%. After assessing the shape of the specimens, a warping deflection of $0.8 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ was recorded for all elements. The highest deflection value was observed in elements with a core arrangement according to Scheme P. The failure mode and mechanism of the specimens from the MDF 2.7 and MDF 4 series were found to be identical.

The results of the bending strength and modulus of elasticity tests for specimens from series MDF_v 3.2 depending on the orientation of the veneer and the core details relative to the length of the element, are presented in Table 5.

Table 6. Bending strength and modulus of elasticity for specimens faced with MDF_v 3.2 mm (mean values), depending on the orientation of the veneer and the core details relative to the element length. Change in values relative to the MDF 2.7 series. Differences based on the orientation of the veneer and core details. Specimen width: 50 mm

Assessment indicator	MDF _v 3.2				Change relative to MDF 2.7, %				Difference due to veneer orientation, %		Difference due to core detail orientation, %	
	AA	AP	PA	PP	AA	AP	PA	PP	AA-PA	AP-PP	AA-AP	PA-PP
Bending strength f_m , $N \cdot mm^{-2}$	28.37	18.27	20.80	13.00	46.0	30.5	7.0	-7.1	-26.7	-28.8	-35.6	-37.5
Modulus of elasticity, $N \cdot mm^{-2}$	3683.33	2786.00	2882.33	1912.33	45.8	73.4	14.1	19.0	-21.8	-31.4	-24.4	-33.7

The results presented in Table 5 show a significant influence of the presence of veneer in the cladding sheet on the bending strength and modulus of elasticity of the produced elements. The orientation of the veneer relative to both the core detail orientation and the element length (L) is of importance. Due to the sufficiently high values of the studied parameters, crosswise arrangement of the core details is not required. To achieve minimal anisotropy of the elements, it is recommended that the veneer be oriented perpendicular to the length of the core details.

After assessing the shape of the specimens, a warping deflection of $0.8 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ was recorded for the elements from group PP, which decreased in groups AP and PA. No warping was detected in group AA. To stabilize the shape and improve the manufacturability of the core arrangement, it is recommended to place two perpendicularly oriented core details at the ends of the element. With the proposed core arrangement scheme, the modulus of elasticity of the three-layer element will be comparable to that of a factory-produced laminated particleboard with a thickness of 25 mm.

The failure mechanism of the specimens from series MDF_v 3.2 (Fig. 5) corresponds to the failure mechanism of the elements from series MDF 2.7 (Fig. 4).



Fig. 5. Damaging of MDF_v specimens under bending stress: A - Elements from Series AA; B - Elements from Series PP

The results of the bending strength and modulus of elasticity tests for specimens laminated with three-layer poplar plywood with thicknesses of 3 mm and 4 mm are presented in Table 7.

The values of the evaluated parameters obtained for all series exceed the requirements of the standard. The bending strength values obtained for the PL 3 series are comparable to those recorded for the MDF 2.7 series.

Due to the higher accuracy indicators for the PL 4 series ($p < 10\%$), it can be concluded that the change in the values of the evaluated parameters, resulting from the increase in plywood thickness for core details oriented along the length, is insignificant.

Warping was observed in the specimens from all series. The warping deflection for PL 3 is comparable to that observed in Scheme P for MDF 2.7, as well as for groups AP and PA. With the increase in the thickness of the cladding layer, warping in the longitudinally oriented

core details increases, indicating improper orientation of the plywood laminating sheets relative to the core details.

Table 7. Bending strength and modulus of elasticity for specimens from series PL 3 and PL 4 (average values), under different core detail arrangement schemes. The wood grain in the face veneer of the plywood is oriented along the length of the element

Type of laminate sheets, arrangement scheme of the core details	PL 3		PL 4		Change, %	
	Scheme A	Scheme P	Scheme A	Scheme P	Scheme A	Scheme P
Specimen Wight, mm	50	50	50	50	50	50
Bending strength f_m , $N \cdot mm^{-2}$	22.43	13.67	22.00	17.77	-1.93	30.00
Modulus of elasticity, $N \cdot mm^{-2}$	2966.00	1719.33	2876.67	2033.33	-3.01	18.26

The failure of the elements from both PL 3 series is characterized by delamination of the plywood layers (Fig. 6).

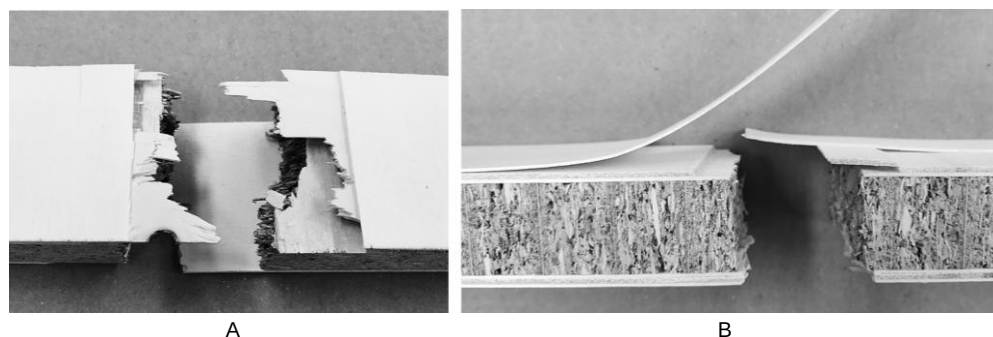


Fig. 6. Damaging of Plywood 3 specimens under bending stress: A - Elements from Series A; B - Elements from Series P

The failure is adhesive, occurring primarily between the middle layer and the inner layer of the element. The failure of the plywood occurs simultaneously with the failure of the element (Fig. 8). The failure mechanism differs from that observed in elements laminated with HPL (Angelski et al., 2024).

The failure mechanism observed in the specimens from the PL 4 series corresponds to that of the elements from the MDF and MDF_v series. In some specimens with perpendicularly oriented core details, residual deformation was observed in the failure zone in the direction of loading, without any delamination of the plywood (Fig. 7).



Fig. 7. Residual deformation in the failure zone of a PL 4 series element

Fig. 8 present the studied detail's stress-strain relationships.

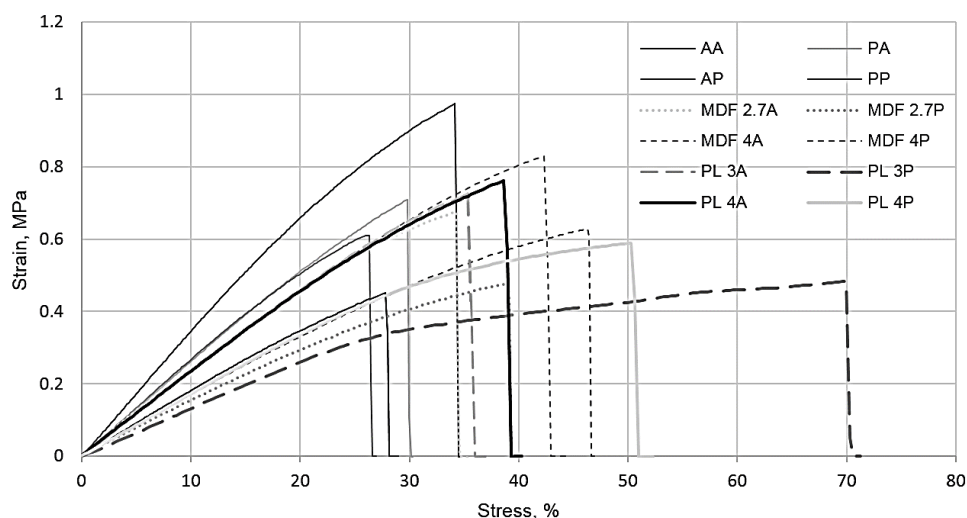


Fig. 8. Stress-strain relationships (in percent of thickness) of 50 mm wide specimens

The relationships presented in Fig. 8 indicate a similar failure mechanism of the specimens across all series and all conducted experiments.

Conclusions

The present study shows changes in shape, bending strength, and modulus of elasticity of three-layer elements with cores made from laminated particleboard cutting waste, when laminated with materials of varying types and characteristics. A polyvinyl acetate dispersion adhesive was used. The lamination was carried out on a hydraulic press at a temperature of 50°C and a specific pressure of 0.075 MPa.

It was established that the produced elements are anisotropic, and that the values of bending strength and modulus of elasticity are within the standardized limits for engineered wood panels. It was also determined that the type and mechanical properties

of the laminating sheets significantly influence the dimensional stability and mechanical performance of the manufactured elements.

Compared to similar elements laminated with HPL, an increased dimensional stability was observed.

Compared to factory-produced particleboard with a thickness of 25 mm, the bending strength varied between -11% and +94%, while the modulus of elasticity ranged from -43% to +30%.

When laminated with MDF, the thickness of the cladding sheet influences the values of the evaluated parameters.

When using one-sided veneered MDF for lamination, it is recommended that the veneer be oriented perpendicular to the length of the core details.

To achieve improved performance, it is recommended that, when laminating with three-layer poplar plywood, the wood grain in the face veneer be oriented parallel to the core details.

It can be concluded that the developed schemes and technologies have potential for effective application in the production of small- to medium-sized structural elements for furniture across various price ranges.

Acknowledgment

This research was supported by Project No. НИС-Б-1334/05.03.2024 "Development and research of technological methods for the furniture plate waste utilization" carried out at the University of Forestry, Sofia, Bulgaria.

References

Angelski, D., Atanasova, K., Angelova, V., 2024. Production of furniture elements with particleboard cutting waste core: Innovation in woodworking industry and engineering design Vol. XIII, 2/2024 (26): 97-105, ISSN 2367-6663 (Online); ISSN 1314-6149 (Print)

Antov, P., Savov, V., Neykov, N., 2020. Reduction of formaldehyde emission from engineered wood panels by formaldehyde scavengers - A review: Proceedings of the 13th International Scientific Conference Wood EMA 2020 and 31st International Scientific Conference ICWST, Vinkovci, Croatia, 28-30 September 2020

Barbaritano, M., Bravi, L., Savelli, E., 2019. Sustainability and Quality Management in the Italian Luxury Furniture Sector: A Circular Economy Perspective. Sustainability 11(11), 3089. <https://doi.org/10.3390/su11113089>

Daian, G., Ozarska, B., 2009. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector: J. Clean. Prod. 17, 1594-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.07.008>

Król, P.M., Podziewski, P., Hanincová, L., 2022. Deviation of coordinates of small-dimension holes in fibreboard: Wood Mater. Sci. Eng. 1-6. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2121661>

Kumar, R.N., Pizzi, A., 2019. Environmental Aspects of Adhesives - Emission of Formaldehyde: Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials, Wiley-Scrivener Publishing, Hoboken, NJ, USA, 293-312. <https://doi.org/10.1002/9781119605584.ch13>

Kavalov, A., Angelski, D., 2014. Furniture technology. Publishing House of Forestry University, Sofia, 390 p., ISBN 978-954-332-115-5

Luo, P., Yang, C., He, Y., Wang, T., 2024. Use of scrap particleboard to produce recycled particleboard: BioResources 19(2), 3837-3844. <https://doi.org/10.15376/Biores.19.2.3837-3844>

Takacs, F., Frankenberger, K., Stechow, R., 2020. Circular Ecosystems: Business Model Innovation for the Circular Economy: White Paper of the Institute of Management & Strategy

Pei, X., Italia, M., Melazzini, M., 2024. Enhancing Circular Economy Practices in the Furniture Industry through Circular Design Strategies Sustainability 16(15), 6544. <https://doi.org/10.3390/su16156544>

Wronka, A., Kowaluk, G., 2022. The Influence of Multiple Mechanical Recycling of Particleboards on Their Selected Mechanical and Physical Properties: Materials 15(23), 8487. <https://doi.org/10.3390/ma15238487>

Internet sources

Material flow accounts statistics - material footprints. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flow_accounts_statistics_-_material_footprints#EU.27s_material_footprint_by_material_category_over_time (accessed 25.5.2025)

JOWACOLL 103.05 - PVAc Dispersive Adhesive. URL: <https://www.hranipex.lt/en/product/jowacoll-103-05-pvac-dispersive-adhesive-1753/> (accessed 25.5.2025)

List of standards

CEN EN 310:1993, Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. European Committee for Standardization

EN 312:2010, Particleboards - Specifications. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium

Reviewed paper / Artykuł recenzowany

Submitted / Zgłoszony: 28.05.2025

Published online / Opublikowany online: 19.12.2025

Identyfikacja uszkodzeń w procesie wiercenia CFRP/sklejki na podstawie analizy obrazu

Damage identification in CFRP/plywood laminate drilling based on digital image processing

Joanna Zielińska-Szwajka^{a,*}, ORCID: 0000-0002-6212-2666

Krzysztof Szwajka^b, ORCID: 0000-0002-1038-1148

^aPolitechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola, Polska

^bPolitechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Zakład Zintegrowanych Systemów Projektowania i Tribologii, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola, Polska

*Osoba do korespondencji: j.zielinska@prz.edu.pl

Streszczenie

W ostatnich latach hybrydowe struktury wykonane z tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem węglowym (CFRP) przyciągnęły wiele uwagi w wielu gałęziach przemysłu. W przeciwieństwie do hybrydowych kompozytów metal/włókno węglowe, brakuje badań nad laminatami składającymi się z CFRP i materiałów drewnopochodnych. Zadziory i rozwarstwienia powstające podczas wiercenia są głównymi wadami CFRP i kompozytów drewnopochodnych. Ta ostatnia kombinacja materiałów jest szeroko stosowana w obszarach, które korzystają z uzyskanych właściwości tych materiałów, tj. wytrzymałości i lekkości, w szczególności jako materiał konstrukcyjny do produkcji elementów wykończeniowych kamperów i jachtów. Opracowano metodę wizyjną do rozpoznawania i oceny zadziorów i rozwarstwień powstających podczas wiercenia w oparciu o metody segmentacji progowej i przy użyciu rozmytego układu Takagi-Sugeno-Kang (TSK) z klasteryzacją subtraktywną. W badaniu tym obrazy cyfrowe i wybrane miary sygnału siły osiowej, momentu skrawania w dziedzinie czasu zostały przyjęte jako dane wejściowe do modelu rozmytego. Proponowaną metodę zweryfikowano za pomocą pełnych eksperymentów wiercenia w elementach kompozytowych CFRP/na bazie drewna i porównano z pomiarem ręcznym obsługiwanym przez konwencjonalną metodę przetwarzania obrazu. Wyniki porównania wskazują, że istnieje duża zgodność między proponowaną metodą, a ręczną metodą pomiaru.

Abstract

Hybrid structures made of carbon fiber-reinforced plastics (CFRP) find many applications due to their favorable properties (high strength with low weight). In contrast to hybrid metal-based CFRP laminates, there is a lack of research on hybrid laminates consisting of CFRP and plywood. Spallings and delamination of holes are the main disadvantages when drilling CFRP and wood-based composites. The CFRP/plywood hybrid laminates are widely used in areas that benefit from the obtained properties of these materials, that is, high strength and low density, in particular as a structural material for the production of finishing components of lightweight structures. In this study, a vision-based method for recognizing and evaluating burrs and delamination generated during drilling was developed based on threshold segmentation methods and using fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK) subtractive clustering. Digital images and selected time-domain measures of cutting torque and thrust force and they were adopted as input parameters in the TSK model. The proposed method was verified by full drilling experiments on CFRP/wood-based composite samples and the results were compared based on images of the holes obtained with a stroboscopic microscope. A good agreement was found between the results of manual measurement method and developed TSK-based model.

Słowa kluczowe: wiercenie, wyrwania, vision system, Yolov8n, fuzzy logic

Keywords: drilling, spallings, vision system, Yolov8n, fuzzy logic

Wprowadzenie

Kompozyty drewnopochodne są szeroko stosowane w meblarstwie, przemyśle samochodowym i jachtowym ze względu na ich lepsze właściwości w porównaniu do drewna (Ramage, M. H., et al., 2017; Li., W., et al., 2020; Szwajka, K., et al., 2024). Są one często stosowane w rozwiązaniach konstrukcyjnych jako materiały alternatywne dla litego drewna, ponieważ wykazują lepszą stabilność wymiarową i trwałość (Li., W., et al., 2020; Li., Y., et al., 2019; Xu, J., et al., 2022). Kompozyty o osnowie polimerowej wzmocnione włóknami węglowymi, zaliczane do grupy CFRP (Carbon Fiber Reinforcement Plastics) są interesującą grupą materiałów inżynierskich (Zhang, X., et al., 2023; Szwajka, K., et al., 2023). W przypadku wyrobów z CFRP proces wiercenia stanowi niezbędny etap produkcji mechanicznej podczas procesu montażu (Szwajka, K., et al., 2024; Y., et al., 2019). Kompozyty CFRP mają tendencję do generowania pewnych defektów (w tym zadziorów i rozwarstwień) ze względu na naturę włókna węglowego i laminowanej struktury (Xu, J., et al., 2022; Cao, S., et al., 2023). Wiele eksperymentów wykazało, że defekty te znacznie zmniejszają wytrzymałość i odporność na zmęczenie materiałów CFRP, co nie tylko negatywnie wpływa na użyteczność produktów CFRP, ale także wpływa niekorzystnie na proces dalszego montażu (Wang, X., et al., 2023; Weng, J., et al., 2023). Stąd też niniejsze badania kładą nacisk na rozpoznawanie zadziorów i rozwarstwień CFRP powstałych

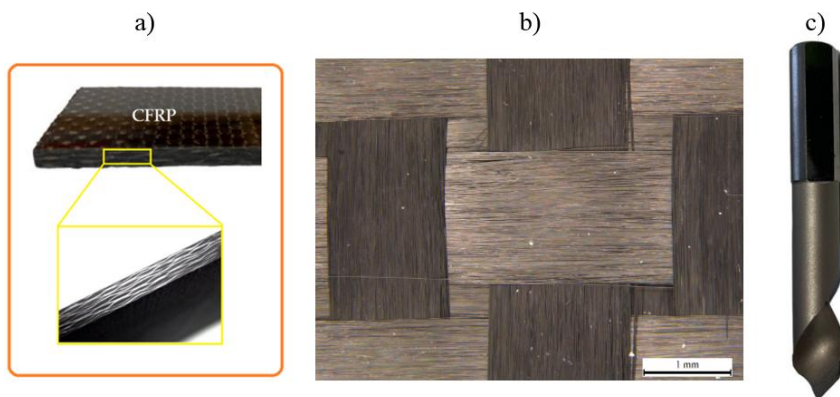
w procesie wiercenia. Chociaż dostępnych jest wiele metod pomiaru defektów wywołanych wierceniem, wciąż trudno je odtworzyć ze względu na małą skuteczność opracowanych do tego celu algorytmów (Zhang, X., et al., 2023).

Cel i zakres pracy

Głównym celem tych badań jest przedstawienie nowej metody rozpoznawania zadziorów i rozwarstwień powstałych w procesie wierceniem w oparciu o metody segmentacji progowej i przy użyciu rozmytego układu Takagi-Sugeno-Kang (TSK) z klasteryzacją subtraktywną. Proponowana metoda została zweryfikowana poprzez eksperymentalne próby wiercenia.

Materiały i metodyka badań

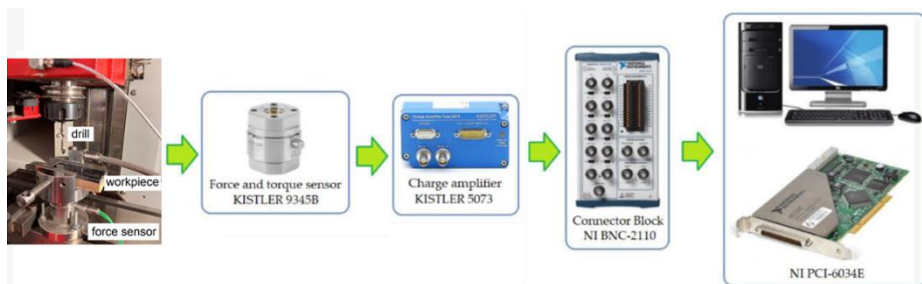
W badaniach zastosowano płytę sklejkową o grubości 9 mm oraz płytę CFRP o grubości 3 mm. Płyta CFRP została przyklejona jednostronnie do zewnętrznej powierzchni sklejki. Do badań w procesie wiercenia użyto próbki o wymiarach 120 mm × 30 mm × 12 mm. Do testów zastosowano typowe narzędzie skrawające, wiertło jednoostrzowe o średnicy 5 mm z ostrzami z polikrystalicznego diamentu (PCD) firmy Leitz Diamaster PRO (Rys. 1).



Rys. 1. a) płyta CFRP, b) włókno węglowe, c) wiertło
Fig. 1. a) CFRP plate, b) plain-weave carbon fabric run and c) single-edge drill

Proces wiercenia przeprowadzono na pionowej frezarce CNC. Schematyczny diagram konfiguracji toru pomiarowego oraz systemu archiwizacji danych pomiarowych przedstawiono na rysunku 2. W testach wiercenia rejestrowano wartości siły posuwowej (F_f) i momentu skrawania (M_c) podczas obróbki. Wywiercono trzy otwory (z tym samym zestawem parametrów skrawania) w płycie CFRP/sklejka o wymiarach 130 mm × 30 mm × 18 mm na frezarce CNC. Wartość siły posuwowej i momentu skrawania mierzono za pomocą piezoelektrycznego czujnika przemysłowego Kistler 9345B2. Sygnały z czujnika rejestrowano na dysku komputera osobistego (PC) za pomocą 16-bitowej karty analogowo-cyfrowej National Instruments 6034E o częstotliwości próbkowania 50 Hz (Rys. 2). W badaniach zdjęcia powierzchni wokół wywierconych otworów wykonywano za pomocą

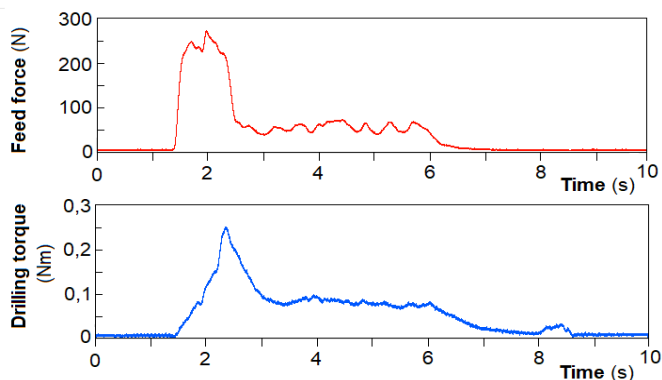
mikroskopu stereoskopowego posiadającego optykę apochromatyczną z układem FusionOptics i TripleBeam.



Rys. 2. Konfiguracja eksperymentalna i schemat systemu akwizycji danych
Fig. 2. Experimental setup and diagram of the data acquisition system

Wyniki badań

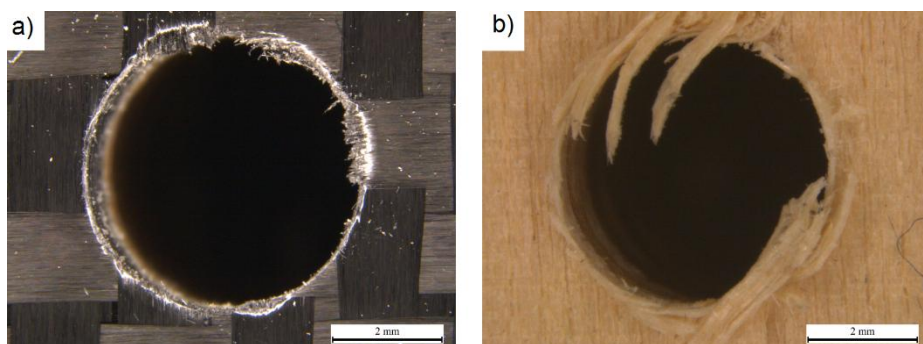
Zauważono, że podczas wiercenia można wyodrębnić charakterystyczne fragmenty sygnału siły posuwowej (F_f) i momentu skrawania (M_c) (Rys. 3). Pierwszy fragment to obszar, w którym wiertło wchodzi w materiał obrabianego przedmiotu; w związku z tym siła posuwowa i moment skrawania wzrasta. Następnie wiertło zaczyna skrawać warstwę materiału o największej gęstości (CFRP). Gdy wiertło opuszcza obszar materiału o zwiększonej gęstości, zarówno siła, jak i moment maleje co do wartości. Następnie występuje fragment sygnału, w którym wiertło penetruje na głębokość warstwy tworzące sklejkę. Powoduje to fluktuację wartości siły posuwowej i momentu skrawania.



Rys. 3. Zmiany siły posuwu i sygnału momentu skrawania
Fig. 3. Variation of feed force and cutting torque signals

Analiza wyrwań w procesie wiercenia CFRP jest kluczowa ze względu na specyfikę tego materiału. CFRP charakteryzuje się anizotropową strukturą, co sprawia, że wiercenie w nim jest bardziej skomplikowane niż w materiałach izotropowych, takich jak metale. Wyrwania, czyli uszkodzenia struktury materiału wokół otworu, mogą znacząco obniżyć jego

wytrzymałość i funkcjonalność. Jedną z głównych przyczyn powstawania wyrwań są nadmierne siły skrawania, co prowadzi do rozwarstwienia materiału. Stosowanie odpowiednich metod analizy i optymalizacja parametrów wiercenia pozwala na minimalizację uszkodzeń i uzyskanie otworów o wysokiej jakości. Wykonywanie i analiza zdjęć otworów w CFRP jest kluczowym elementem zapewnienia wysokiej jakości i integralności strukturalnej elementów kompozytowych. Stosowanie odpowiednich technik i narzędzi pozwala na dokładną ocenę uszkodzeń i optymalizację procesu wiercenia. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe zdjęcia wywierconych otworów, które posłużyły do dalszej analizy.

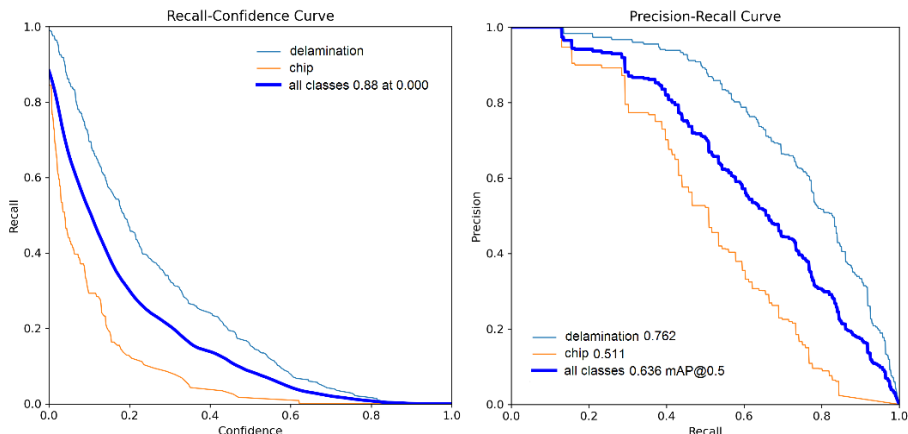


Rys. 4. Zdjęcie otworu: a) CFRP (wejście), b) sklejka (wyjście)

Fig. 4. Images of holes in CFRP/plywood composite plate on the side of a) CFRP plate (entry side) and b) plywood plate (exit side)

W przeprowadzonych badaniach zastosowano dwie nadzorowane metody uczenia maszynowego: YOLOv8n i metodę wnioskowania rozmytego Takagi-Sugeno-Kang (TSK) z klasteryzacją subtraktywną, aby ocenić ich skuteczność w wykrywaniu niezgodnej jakości otworów. Zestaw danych składał się z 72 poprawnych i 28 niezgodnych otworów. Z sygnału siły posuwowej i momentu skrawania wyodrębniono cechy pozwalające na wykrywanie aktualnego położenia wiertła w trakcie obróbki, co umożliwiło identyfikację aktualnego położenia wiertła w obszarze płyty sklejki lub CFRP. Ponadto z sygnałów siły posuwowej i momentu skrawania wyznaczono miary w dziedzinie czasu, które posłużyły jako wejścia do logiki rozmytej. Siedemdziesiąt pięć procent danych wykorzystano do treningu, a pozostałe 25% zarezerwowano do testowania. Do pierwszej analizy zastosowano Sieć YOLOv8n, jest to model detekcji obiektów w czasie rzeczywistym, będący najmniejszym i najszybszym wariantem z rodziny YOLOv8. Architektura YOLOv8n składa się z trzech głównych części: Backbone: służy do ekstrakcji cech z obrazu wejściowego; Neck: łączy cechy z różnych warstw "backbone" w celu poprawy dokładności detekcji obiektów o różnych rozmiarach; Head: odpowiada za ostateczną predykcję klasy i lokalizacji obiektów na obrazie. Aby ocenić wydajność modelu YOLOv8n w zakresie wykrywania i rozpoznawania wad otworów zastosowano dwie metryki: Recall i Average Precision (mAP) w celu oceny wydajności modelu (Rys. 5). Recall mierzy, jak dobrze model identyfikuje wszystkie rzeczywiste

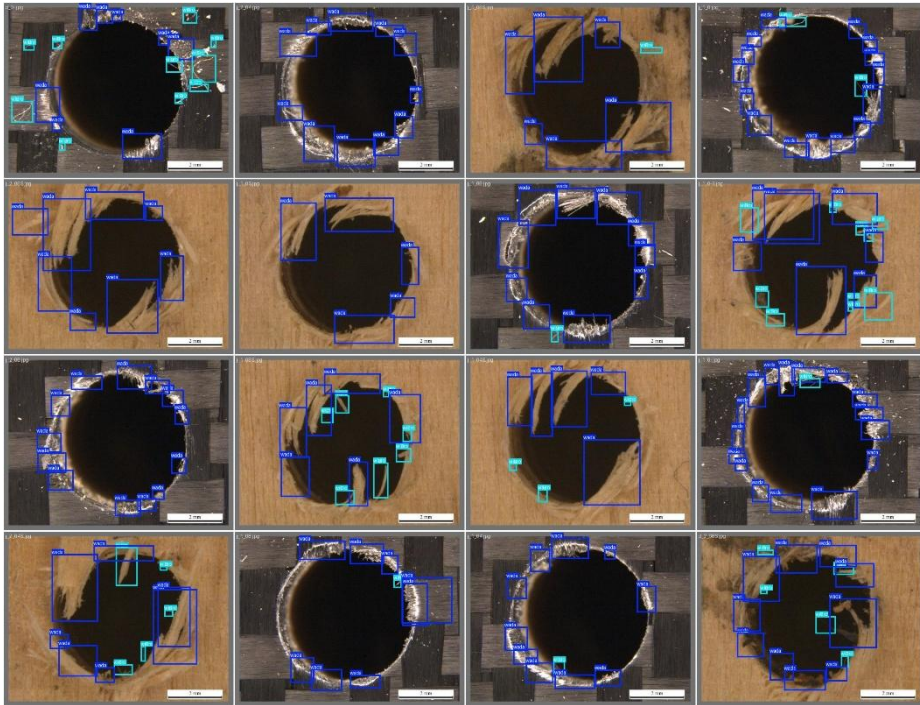
pozytywne przypadki. W analizie uzyskano dokładność 88%. Average Precision (mAP) odzwierciedla dokładność modelu i reprezentuje średnią dokładność wszystkich stanów wykrytych przez model. W analizowanym przypadku wynosi 63.3% przy progu przecięcia 0.5.



Rys. 5. Recall i Average Precision (mAP) dla modelu YOLOv8n

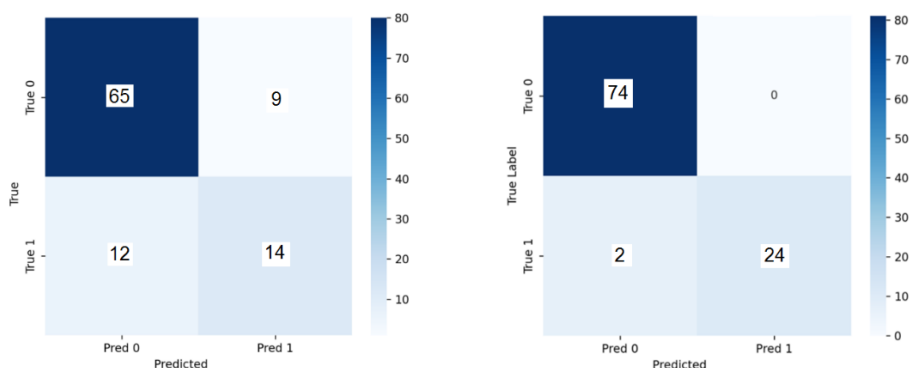
Fig. 5. Recall and mAP curves for YOLOv8n model

Model Takagi-Sugeno-Kang (TSK) to rodzaj systemu wnioskowania rozmytego, który służy do modelowania i sterowania złożonymi, nieliniowymi systemami. Jedną z metod optymalizacji parametrów modelu rozmytego są metody klastrowania. Wykorzystują one fakt, że automatyczne wykrywanie pewnych grup punktów pomiarowych i charakterystycznych wzorców zachowania systemu można przedstawić za pomocą jednej reguły lub ich spójnego zbioru. Metoda potencjału subtraktywnego zastosowana w tym artykule zakłada, że środkiem klastra może być tylko element zbioru punktów pomiarowych. Metoda została szczegółowo opisana w pracy (Szwajka, K., et al., 2023). Centra klastrów wyznaczone metodą potencjału subtraktywnego mogą być wykorzystane do budowy reguł wnioskowania rozmytego dla różnych algorytmów sztucznej inteligencji. W szczególności mogą być wykorzystane do budowy modeli, które przewidują zachowanie różnych typów złożonych systemów w czasie. Identyfikacja systemu przy użyciu klasteryzacji obejmuje tworzenie klastrów w przestrzeni danych i tłumaczenie tych klastrów na reguły TSK tak, aby uzyskany model był podobny do zidentyfikowanego systemu. Rysunek 6 przedstawia wyniki procesu rozpoznawania defektów obserwowane po stronie wejścia i wyjścia otworu. Wyniki te uzyskano przy użyciu modelu YOLOv8n + TSK.



Rys. 6. Lokalizacja defektów wokół otworu
Fig. 6. Location of defects around the hole

Macierz pomyłek to prosta tabela, która pokazuje, jak dobrze działa model klasyfikacji, porównując jego przewidywania z rzeczywistymi wynikami. Dzieli przewidywania na cztery kategorie: prawidłowe przewidywania dla obu klas (prawdziwe pozytywy i prawdziwe negatywy) oraz nieprawidłowe przewidywania (fałszywe pozytywy i fałszywe negatywy). Pomaga to zrozumieć, gdzie model popełnia błędy, dzięki czemu można go ulepszyć. Macierz wyświetla liczbę przewidywań wygenerowanych przez model na danych testowych. Macierz pomyłek (Rys. 7) pomaga zobaczyć, jak dobrze działa model, pokazując prawidłowe i nieprawidłowe przewidywania. Pomaga również obliczyć kluczowe miary, takie jak: dokładność, precyzja i odwołanie.



Rys. 7. Macierz pomyłek dla wyników otrzymanych przy zastosowaniu modelu YOLOv8n (po prawej) oraz modelu YOLOv8n z wnioskowaniem rozmytym Takagi-Sugeno-Kang (TSK) z klasteryzacją subtraktywną (po lewej).

Fig. 7. Confusion matrix for the results obtained using the YOLOv8n model (right) and the YOLOv8n + TSK-based fuzzy inference model with subtractive clustering (left)

Metryki wydajności są niezbędne do oceny skuteczności algorytmów wykrywania obiektów. Metryki te dostarczają informacji na temat tego, jak dobrze model wykrywa i lokalizuje obiekty na obrazach. Precyzja (P) opisuje odsetek wykrytych obiektów, które są rzeczywiście pożądaną klasą, podczas gdy odwołanie (R) wskazuje odsetek rzeczywistych obiektów wykrywanych przez model. Idealny model miałby zarówno precyzję, jak i odwołanie zbliżające się do 100%. Kluczowe metryki wyliczone na podstawie macierzy dla obu przypadków przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Metryki oceny

Table 1. Evaluation Metrics

Model	P%	R%
YOLOv8n	61	54
YOLOv8n+TSK	100	92

Wnioski

Zaproponowana nowa metoda rozpoznawania defektów, łącząca segmentację progową, model detekcji YOLOv8n oraz system wnioskowania rozmytego Takagi-Sugeno-Kang (TSK) z klasteryzacją subtraktywną, okazała się znacząco skuteczniejsza niż sam model YOLOv8n. Zastosowanie logiki rozmytej TSK pozwoliło na wykorzystanie miar z dziedziny czasu (pochodzących z sygnałów siły posuwowej F_t i momentu skrawania M_c) jako dodatkowych wejść do modelu, co przyczyniło się do wykrywania nieprawidłowości.

Po mikroskopowej analizie zdjęć przypisano etykiety na podstawie obserwacji współczynnika rozwarstwienia. YOLOv8n osiągnęło wyniki gorszy w stosunku do model połączenia YOLOv8n i rozmytego modelu Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Precyzja (P) modelu YOLOv8n wynosi 61%, podczas gdy odwołanie (R) wynosi 54%. Natomiast precyzja modelu YOLOv8n+TSK wynosi 100%, podczas gdy odwołanie (R) wynosi 92%.

Wyniki te dowodzą, że integracja detekcji wizualnej (YOLOv8n) z modelowaniem behawioralnym opartym na rozmytych systemach (TSK) znacząco zwiększa dokładność i niezawodność w wykrywaniu niezgodnej jakości otworów.

Literatura

Ramage, M. H., et al., 2017. The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68, 333-359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>

Li, W., Zhang, Z., Zhou, G., Leng, W., Mei, C., 2020: Understanding the interaction between bonding strength and strain distribution of plywood. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 98, 102506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102506>

de la Cruz-Carrera, R., Carrillo-Parra, A., Prieto-Ruiz, J.Á., Fuentes-Talavera, F.J., Ruiz-Aquino, F., Goche-Télles, J. R., 2024: Modulus of Elasticity in Plywood Boards: Comparison between a Destructive and a Nondestructive Method. *Forests* 15(9), 1596. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15091596>

Szwajka, K., Zielińska-Szwajka, J., Trzepieciński, T., 2024: Experimental Analysis of Smart Drilling for the Furniture Industry in the Era of Industry 4.0. *Materials* 17(9), 2033. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17092033>

Li, Y., Zhang, T., Jiang, B., Zhao, L., Liu, H., Zhang, J., Fan, J., Guo, Z., Huang, Y., 2019: Interfacially reinforced carbon fiber silicone resin via constructing functional nano-structural silver. *Composites Science and Technology* 181, 107689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107689>

Xu, J., Yin, Y., Paulo Davim, J., Li, L., Ji, M., Geier, N., Chen, M., 2022: A critical review addressing drilling-induced damage of CFRP composites. *Composite Structures* 294, 115594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115594>

Cao, S., Li, H. N., Tan, G., Wu, C., Huang, W., Zhou, Q., Hu, Z., 2023: Bi-directional drilling of CFRPs: from principle to delamination suppression. *Composites, Part B* 248, 110385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110385>

Wang, X., Wang, F., Jin, X., Fu, R., Shi, Y., 2022: Numerical prediction of the chip formation and damage response in CFRP cutting with a novel strain rate based material model. *Composite Structures* 294, 115746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115746>

Weng, J., Saelzer, J., Berger, S., Zhuang, K., Bagherzadeh, A., Budak, E., Biermann, D., 2023: Analytical and experimental investigations of rake face temperature considering temperature-dependent thermal properties. *Journal of Materials Processing Technology* 314, 117905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117905>

Arhamnamazi, S., Aymerich, F., Buonadonna, P., Mehtedi, M. E., 2021: Assessment of drilling-induced delamination and tool wear in carbon fibre reinforced laminates. *Polymers and Polymer Composites* 29, 729-740. DOI: <https://doi.org/10.1177/09673911211023057>

Zhang, X., Huang, W., Wu, C., Cao, S., 2023: Defect measurement in CFRP drilling based on digital image processing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 127, 5405-5419. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11838-8>

Szwajka, K., Zielińska-Szwajka, J., Trzepieciński, T., 2023: The Use of a Radial Basis Function Neural Network and Fuzzy Modelling in the Assessment of Surface Roughness in the MDF Milling Process. *Materials* 16, 5292. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16155292>

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 12.05.2025

Opublikowany online / Published online: 19.12.2025

Optimalizacja struktury sieci neuronowej do oceny zużycia narzędzia w procesie wiercenia laminatów CFRP/sklejka

Optimization of the neural network structure for tool wear estimation in the drilling process of CFRP/plywood laminates

Krzysztof Szwajka^{a,*}, ORCID: 0000-0002-1038-1148
Joanna Zielińska-Szwajka^b, ORCID: 0000-0002-6212-2666

^aPolitechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Zakład Zintegrowanych Systemów Projektowania i Tribologii, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola, Polska

^bPolitechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola, Polska

*Osoba do korespondencji: kszwajka@prz.edu.pl

Streszczenie

System diagnostyki stanu narzędzia jest wciąż brakującym elementem wyposażenia zaawansowanych maszyn do obróbki skrawaniem. Monitorowanie stanu narzędzi jest ważnym problemem w produkcji mebli i podobnych branżach. Efektywny układ tego typu zwiększyłby wydajność obróbki, przy jednoczesnym wzroście dokładności i niezawodności. Pozwoliłby również na pełną, elastyczną automatyzację wytwarzania. W pracy przedstawiono metodę szacowania zużycia ostrza na podstawie wielu miar sygnałów diagnostycznych. Typowym rozwiązaniem problemu aproksymacji zużycia ostrza na podstawie wielu miar jest zastosowanie sieci neuronowej. Najpopularniejszą siecią jest perceptron wielowarstwowy. Przedstawiono proces optymalizacji struktury i parametrów sieci.

Abstract

Tool condition diagnostics system is still a missing element of advanced machining equipment. Tool condition monitoring is an important problem in furniture production and similar industries. An effective system of this type would increase machining efficiency, while increasing accuracy and reliability. It would also allow for full, flexible automation of production. This paper presents a method for estimating blade wear based on multiple measures of diagnostic signals. A typical solution to the problem of approximating blade

wear based on multiple measures is the use of a neural network. The most popular network is a multilayer perceptron. The process of optimizing the structure and parameters of the network is presented.

Słowa kluczowe: wiercenie, opory skrawania, sieci neuronowe, zużycie narzędzia

Keywords: drilling, cutting resistance, neural networks, tool wear

Wprowadzenie

W dostępnych na rynku systemach nadzoru stanu narzędzia skrawającego dominuje najprostsza strategia jednoczynnikowa (Szwajka, K., et al., 2023). Publikacje prezentowane na całym świecie zgodnie stwierdzają, że takie podejście nie wystarcza do poprawnej oceny zużycia narzędzia i że jedynie zastosowanie wielu czujników może dać zadowalające rezultaty (Byrne, G., et al., 1995; Choi, G. S., et al., 1990). Sztuczna inteligencja, czy systemy ekspertowe, które wykorzystują zarówno informacje z wielu czujników jak i parametry skrawania wciąż pozostają w sferze badań laboratoryjnych (Choi, G. S., et al., 1990; Dornfeld, D. A., 1990). W wiodących ośrodkach badawczych podejmuje się jednak wiele wysiłku, w celu stworzenia efektywnego, inteligentnego układu nadzorującego. Obecnie do diagnozowania zużycia ostrza na podstawie sygnałów z wielu czujników korzysta się najczęściej z sieci neuronowych (Zhou, X., et al., 2023; Wang, J., et al., 2018), Neuro-Fuzzy (Tao, F., et al., 2018; Xu, L., et al., 2021) i logiki rozmytej (Saw, L. H., et al., 2018; Cheng, Y., et al., 2023). Szeroki przegląd takich rozwiązań można znaleźć w literaturze (Munaro, R., et al., 2023; Wang, Y., et al., 2023). Najpopularniejszą siecią jest perceptron wielowarstwowy (Wang, Y., et al., 2023; Szwajka, K., et al., 2024).

Od kilku lat prowadzone są badania nad zastosowaniem sieci neuronowych (SN) do automatycznej oceny zużycia ostrzy narzędzi skrawających. Z sygnałów sił skrawania i emisji akustycznej rejestrowanych podczas prób skrawania wyznaczane są miary statystyczne. Do najczęściej wyznaczanych miar należy wartość średnia i odchylenie standardowe. Miary te wraz z parametrami skrawania służą jako dane do uczenia SN. Na podstawie tych danych, wyznaczanych na bieżąco podczas obróbki, nauczona wcześniej sieć neuronowa może przewidzieć wartość zużycia z niewielkim błędem.

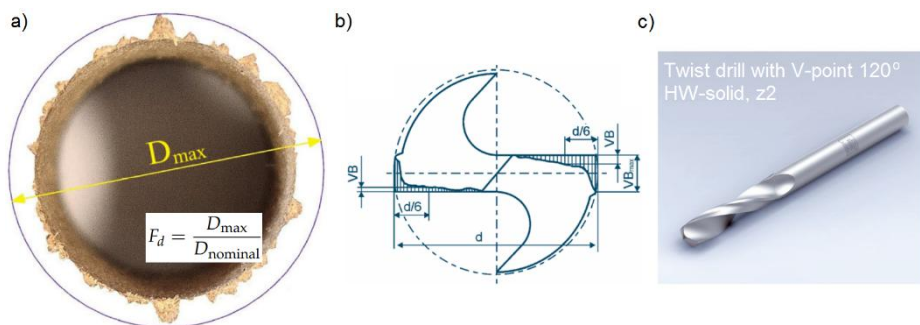
Wykonano cztery próby trwałościowe. Zastosowano sieć neuronową: perceptronową typu FFBP. Celem tych badań było znalezienie minimalnej struktury sieci i sposobu jej treningu przy zachowaniu dobrej jakości odpowiedzi, czyli niskiego poziomu błędów. W artykule opisano metodykę przeprowadzonych badań trwałościowych. W dalszej kolejności zawarto wyniki optymalizacji struktury sieci neuronowej, a następnie przedstawiono wnioski wynikające z badań.

Cel i zakres pracy

Celem tych badań było znalezienie minimalnej struktury sieci i sposobu jej treningu przy zachowaniu dobrej jakości odpowiedzi, czyli niskiego poziomu błędów. W ramach badań wykonano cztery próby trwałościowe. Zastosowano sieć neuronową: perceptronową typu FFBP. Proponowana metoda została zweryfikowana poprzez eksperymentalne próby wierceń.

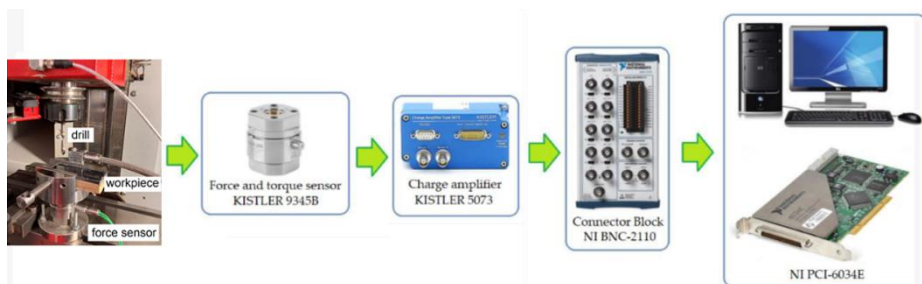
Materiały i metodyka badań

W badaniach zastosowano płytę sklejkową o grubości 9 mm oraz płytę CFRP o grubości 3 mm. Płyta CFRP została przyklejona jednostronnie do zewnętrznej powierzchni sklejki. Do testów użyto typowego narzędzia skrawającego, którym było wiertło jednoostrzowe o średnicy 5 mm wykonane z węgla HW firmy Leitz (Rys. 1).



Rys. 1. a) wskaźnik delaminacji; b) wskaźnik zużycia narzędzia; c) wiertło
Fig. 1. a) procedure for measuring delamination factor; b) procedure for measuring the tool wear; c) drill

W testach wiercenia rejestrowano wartości siły posuwowej (F_f) i momentu skrawania (M_c) podczas obróbki. Ponadto, dokonywano pomiaru wskaźnika rozwarstwienia laminatu F_d oraz pomiaru wskaźnika zużycia ostrza VB . Pomiar obu wskaźników przeprowadzano każdorazowo po serii wykonania trzydziestu otworów. Ponieważ w badaniach zastosowano zmienne parametry skrawania, jako wskaźnik zużycia brano pod uwagę starcie ostrza na powierzchni przyłożenia w strefie naroża. Do określania wartości tego wskaźnika użyty został mikroskop warsztatowy. Niepewność pomiaru można przyjąć jako 0.01. Otwory wiercono w płycie CFRP/plywood. W badaniach stosowano stałą prędkość obrotową 3000 obr/min i trzy wartości posuwu: 0.10; 0.15 i 0.20 mm/obr. Próby trwałościowe narzędzia oznaczono jako: T1, T2, T3 i T4. Wartość siły posuwowej i momentu skrawania mierzono za pomocą piezoelektrycznego czujnika przemysłowego Kistler 9345B2 (Rys. 2). Sygnały z czujnika rejestrowano na dysku komputera osobistego (PC) za pomocą 16-bitowej karty analogowo-cyfrowej National Instruments 6034E o częstotliwości próbkowania 50 Hz. Powierzchnię wokół każdego rejestrowano za pomocą kamery.



Rys. 2. Konfiguracja eksperymentalna i schemat systemu akwizycji danych
Fig. 2. Experimental setup and diagram of the data acquisition system

Wyniki badań

Mając do dyspozycji dane z czterech prób trwałościowych narzędzia przystąpiono do eksperymentów z sieciami neuronowymi. Najwięcej uwagi poświęcono sieci typu FFBP i jej możliwościom pod kątem jakości predykcji zużycia wiertła. Minimalizacja struktury obejmowała głównie rozmiar wektora wejściowego, liczbę miar i parametrów wykorzystywanych przez sieć. Postąpiono tak ze względu na to, że ilość informacji wchodzących do sieci wymaganych do poprawnej oceny zużycia wpływa na koszt układu diagnostycznego. Do symulacji sieci neuronowej FFBP użyto oprogramowania stworzonego i modyfikowanego we własnym zakresie. Umożliwia ono między innymi:

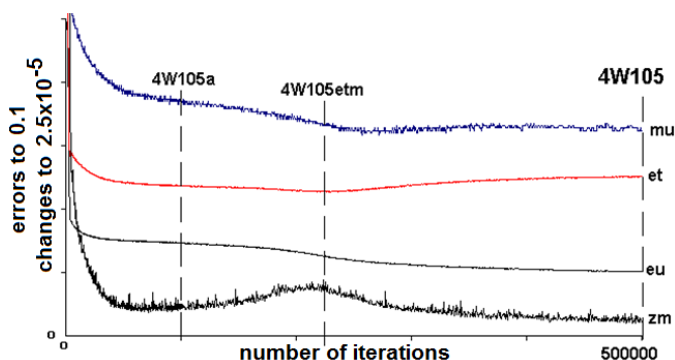
- obserwację RMS błędu i błędu maksymalnego dla pliku uczącego (eu i mu) i testującego (et i mt) jednocześnie;
- zmianę współczynników uczenia sieci: η_1 - wsp. szybkości uczenia i η_2 - momentum;
- automatyczne lub ręczne zakłócanie struktury sieci poprzez dodawanie bądź losowych wartości z określanego przez użytkownika przedziału, bądź wybranych stałych liczb, do każdej z wag połączeń między warstwami neuronowymi; zakłócanie automatyczne wyzwalane jest po upływie dowolnie ustalonej liczby iteracji od chwili, gdy błąd RMS uczenia przestaje maleć;
- automatyczny pruning (redukcję) neuronów ukrytych, gdy błąd RMS odpowiedzi całej sieci spadnie poniżej założonej wartości, a zmienność wyjścia rozpatrywanego neuronu będzie niższa od narzuconej przez użytkownika granicy;
- ręczny pruning wejść na podstawie informacji o przewidywanych błędach po usunięciu dowolnego wejścia i dla kompletnej sieci.

W literaturze coraz częściej można spotkać pogląd, że sieć trzywarstwowa (z jedną warstwą ukrytą) może spełnić te same zadania, co sieć czterowarstwowa. Postanowiono zweryfikować ten pogląd w zastosowaniu do uzyskanych danych pomiarowych. Na wstępie przyjęto następujące struktury sieci:

- sieć czterowarstwowa: 4 - 10 - 5 - 1;
- sieć trzywarstwowa: 4 - 10 - 1;

W obu przypadkach wejściami do sieci były: wartość posuwu, wskaźnik rozwarstwienia laminatu, siła posuwowa i moment skrawania. Do analizy przyjęto $\eta_1 = 0.9$ oraz $\eta_2 = 0.9$.

Na Rys. 3 przedstawiono przebieg naturalnego, tzn. bez żadnych zakłóceń, uczenia sieci 4-warstwowej. Są tu błędy uczenia (eu) i błędy testowania sieci na próbie T1 (et), maksymalne błędy uczenia (mu) oraz średnie zmiany wag sieci. Ta ostatnia wielkość informuje o szybkości zmian, jakim podlega sieć. Sieć uczyła się (obniżała błędy uczenia) bardzo szybko na początku, po czym szybkość ta wyraźnie spadała. To naturalne zjawisko. Po 100000 iteracji błędy eu i et się ustabilizowały, stąd zapamiętano stan sieci jako 4W105a. Później nastąpiła intensyfikacja zmian sieci, osiągająca swoje maksimum po nieco ponad 200000 iteracji. Zaraz potem (po 220500 iteracjach) sieć osiągnęła minimum błędów testowania. Ten stan sieci został automatycznie wykryty przez program i zarejestrowany jako 4W105etm. Dalsze uczenie sieci prowadziło do naturalnego spadku błędów uczenia lecz także do wzrostu błędów testowania. Po prawej stronie Rys. 3 zestawiono wyniki uzyskanych sieci dla wszystkich czterech prób. Wyniki dla prób T1 i T2 są widoczne na rysunku, tablica 1 je jedynie precyzuje i dodaje maksymalne błędy testowania. Wiersz odpowiadający próbie T2 odnosi się oczywiście do błędów uczenia, a nie testowania.



Rys. 3. Przebieg naturalnego uczenia sieci 4-warstwowej i wyniki uzyskanych sieci
Fig. 3. The training process of a four-layer Network

Tabela 1. Wyniki sieci 4-warstwowej

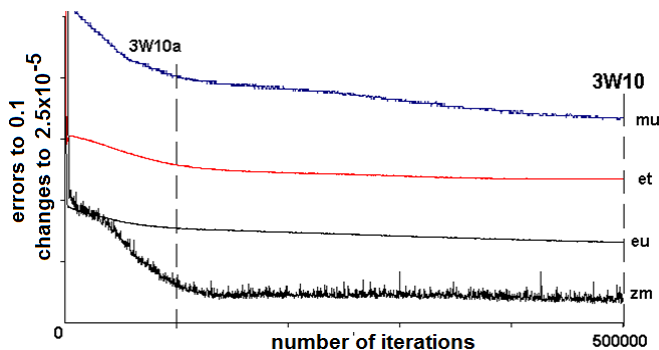
Table 1. Quantitative results of the training process of the four-layer Network

Test	4W105a		4W105etm		4W105	
	rms	max	rms	max	rms	max
T1	0.047	0.125	0.045	0.120	0.050	0.123
T2	0.029	0.075	0.025	0.067	0.020	0.065
T3	0.064	0.129	0.067	0.137	0.070	0.150
T4	0.043	0.134	0.044	0.141	0.044	0.129
Wart. śred.	0.046	0.116	0.045	0.116	0.046	0.117

Analiza błędów uzyskanych w próbach T3 oraz T4 przynosi istotne wyniki. Najlepsza okazała się tu sieć pierwsza, uzyskana po zaledwie 100000 iteracjach. Dalsze uczenie sieci prowadziło zawsze do poprawienia wyników dla próby T2, minimum błędów dla próby T1 po

220500 iteracjach i systematycznego pogarszania wyniku dla prób T3 i T4. W sumie wyniki wszystkich trzech sieci dla wszystkich czterech prób (wartości średnie w ostatnim wierszu Tabeli 1) są niemal identyczne. Oznacza to bardzo ważny dla praktyki wniosek, że nie należy zbyt wagi przywiązywać do błędów testowania w czasie uczenia sieci. Wyniki uzyskane dla innych danych, mogą nie być zbieżne z uzyskanymi dla zbioru wykorzystanego do takiego testowania. Testowanie stanowić może jedynie przybliżoną wskazówkę o ewentualnym przetrenowaniu sieci, czyli zbytym dopasowaniu do zbioru uczącego, co skutkuje brakiem zdolności do uogólnienia i pogorszeniem wyniku dla innych danych niż uczące.

W dalszej części zajęto się analogicznym uczeniem sieci trzywarstwowej. Przebieg tego uczenia i uzyskane wyniki zestawiono na Rys. 4. Podobnie jak poprzednio zarejestrowano stan sieci po 100000 iteracji (sieć 3W10a). Tym razem nie wystąpiło minimum błędów testowania, a sieć do końca poprawiała błędy uczenia i testowania. Warto także zauważyć, iż mimo znacznie prostszej struktury, sieć trzywarstwowa uzyskała stabilizację szybkości zmian wag po większej liczbie iteracji niż sieć czterowarstwowa. Po 100000 iteracji średnie wyniki uzyskane przez sieć 3- i 4-warstwową były prawie identyczne. Później jednak sieć trzywarstwowa poprawiała swój wynik i to nie tylko dla zbioru uczącego (co oczywiste), lecz także dla wszystkich innych zbiorów. Przemawia to na korzyść sieci 3-warstwowej, a przynajmniej nie podważa wspomnianego wcześniej poglądu o równoważności tych struktur.

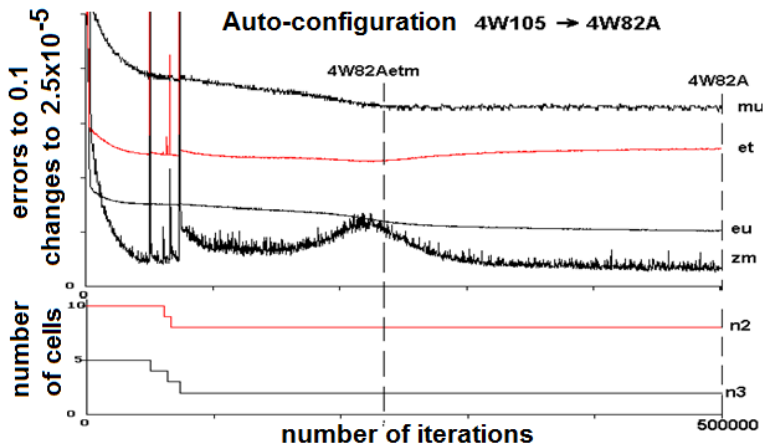


Rys. 4. Przebieg naturalnego uczenia sieci 3-warstwowej i wyniki oceny uzyskanych sieci
Fig. 4. The training process of a four-layer Network

Oczywiście obok liczby warstw, duże znaczenie może mieć liczba komórek w poszczególnych warstwach. Stąd też przed ostateczną decyzją co do przyjęcia sieci 4- lub 3-warstwowej, podjęto próbę zmniejszenia liczby komórek.

Tabela 2. Wyniki sieci 3-warstwowej**Table 2.** Quantitative results of the training process of the three-layer network

Test	3W10a		3W10	
	rms	max	rms	max
T1	0.052	0.123	0.047	0.121
T2	0.031	0.081	0.026	0.067
T3	0.063	0.131	0.062	0.132
T4	0.043	0.130	0.041	0.120
Wart. śred.	0.047	0.116	0.044	0.112



Rys. 5. Przebieg autokonfiguracji sieci 4-warstwowej
Fig. 5. Auto-configuration process of a four-layer network

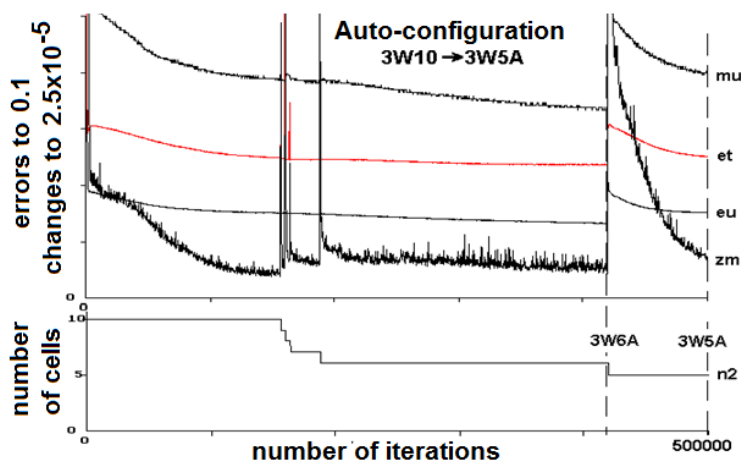
Doboru właściwej liczby neuronów postanowiono dokonać w oparciu o opracowany we własnym zakresie algorytm automatycznego doboru struktury sieci wykorzystującego pruning komórek. Polega on na tym, że po osiągnięciu przez błąd uczenia zadanej wartości (eu_{pr}), świadczącej o dobrym wytrenowaniu sieci, następuje analiza zmienności na wyjściach wszystkich komórek. Wybierana jest ta, której zmienność jest najmniejsza i o ile jest ona niższa od założonego tzw. parametru pruningu (pr), komórka ta jest usuwana. Średnią wartość jej wyjścia rozkłada się równomiernie na wartości progowe (bias) pozostałych komórek w warstwie. Stan sieci przed usunięciem komórki jest zapamiętywany. Minimalna liczba iteracji pomiędzy kolejnymi próbami usunięcia zbędnej komórki (it_{pr}) jest deklarowana przez użytkownika. Na podstawie przedstawionych wyżej przebiegów naturalnego uczenia sieci, przyjęto minimalny błąd uczenia, zezwalający na pruning komórek, na poziomie $eu_{pr} = 0.3$. Ponadto przyjęto arbitralnie $pr = 0.2$ oraz $it_{pr} = 2500$. Na Rys. 5 przedstawiono przebieg uczenia sieci 4-10-5-1 z automatycznym pruningiem komórek (autokonfiguracja sieci). Na Rys. 6 natomiast przebieg autokonfigurowania sieci 3-warstwowej. Już na pierwszy rzut oka zaobserwować można podobieństwo zmienności

zarówno błędów sieci jak i zmienności wag w trakcie autokonfiguracji w stosunku do naturalnego uczenia (porównując Rys. 3 i 5 oraz 4 i 6).

Tabela 3. Wyniki ilościowe procesu autokonfiguracji sieci czterowarstwowej

Table 3. Quantitative results of the auto-configuration process of the four-layer network

Test	4W82Aetm		4W82A	
	rms	max	rms	max
T1	0.046	0.115	0.050	0.124
T2	0.023	0.066	0.020	0.066
T3	0.067	0.142	0.069	0.150
T4	0.044	0.139	0.044	0.126
Wart. śred.	0.045	0.116	0.046	0.117



Rys. 6. Przebieg autokonfiguracji sieci 3-warstwowej
Fig. 6. Auto-configuration process of a three-layer Network

Jak widać usuwanie kolejnych komórek powodowało jedynie „chwilowe” zakłócenie przebiegu uczenia, a po niewielkiej liczbie iteracji, sieć wracała do stanu sprzed pruningu. Usuwanie kolejnych komórek odbywało się szybko jedno po drugim, gdy tylko sieci osiągnęły założony poziom błędów uczenia. Świadczy to o właściwym doborze parametrów autokonfiguracji. Sieć czterowarstwowa dała się zredukować do 4-8-2-1, czyli wyeliminowano 5 komórek. W czasie dalszego uczenia, zmienność wyjść pozostałych komórek nie spadała poniżej założonego progu $pr = 0.2$.

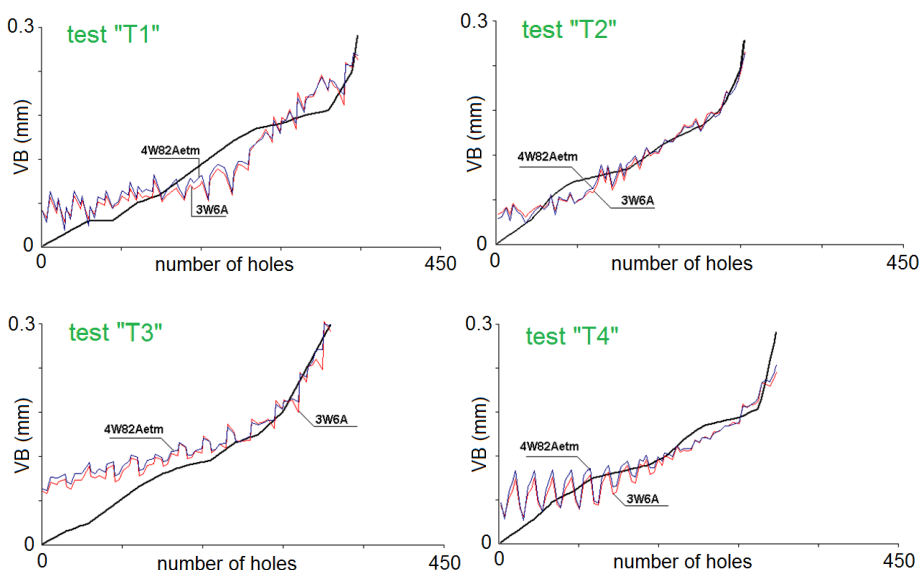
Inaczej rzecz się miała w przypadku sieci trzywarstwowej. Tu po stosunkowo szybkim usunięciu 4 komórek, długo nie następowały żadne zmiany. Dopiero po 405250 iteracjach usunięta została piąta komórka, co pociągnęło za sobą wyraźne pogorszenie jakości sieci (podwyższenie błędów), które spadały w trakcie dalszego uczenia wolno, nie osiągając poprzedniego poziomu nawet po blisko 100000 iteracji. Wyniki podawane w Tabelach 3 i 4

przy powyższych rysunkach są oczywiście obiektywną miarą jakości sieci, jednakże z punktu widzenia użytkownika ważniejszy jest rozkład błędów oszacowania zużycia popełnianych przez sieć w funkcji czasu. Stąd na Rys. 7 przedstawiono podsumowanie wyników najlepszych z dotychczas uzyskanych sieci (4W82etm oraz 3W6A) w postaci porównania rzeczywistych przebiegów zużycia (pogrubione, monotoniczne przebiegi) z oszacowanymi przez te sieci. Jak widać, dokładność oszacowania zużycia rośnie wraz z jego wartością. Dla $VB = 0.3$ mm (wielkość odpowiadająca koniecznemu w tych warunkach skrawaniu wskaźnikowi stępienia) przewidywanie to jest bardzo dokładne. Wyniki uzyskiwane przez obie sieci są bardzo zbieżne ze sobą, co świadczy o ich równoważności. Ostatecznie można zatem przyjąć do dalszych rozważań sieć 3-warstwową.

Tabela 4. Wyniki ilościowe procesu autokonfiguracji sieci trzywarstwowej

Table 4. Quantitative results of the auto-configuration process of the three-layer network

Test	4W82Aetm		4W82A	
	rms	max	rms	max
T1	0.046	0.121	0.050	0.124
T2	0.026	0.067	0.030	0.079
T3	0.062	0.131	0.061	0.123
T4	0.040	0.121	0.041	0.120
Wart. śred.	0.044	0.113	0.046	0.112



Rys. 7. Porównanie rzeczywistego przebiegu zużycia z oszacowanym przez sieci 4W82etm i 3W6A we wszystkich próbach

Fig. 7. Comparison of the real consumption profile with that estimated by the 4W82etm and 3W6A networks in all tests

Wnioski

Jak wynika z analizy przedstawionych wyników zastosowana w badaniach sieć perceptronowa typu FFBP bardzo dobrze nadaje się do automatycznej oceny stanu zużycia ostrza na podstawie użytych miar sił i parametrów skrawania. Pod względem implementacji jest to najłatwiejsze narzędzie realizujące odwzorowania w wielowymiarowych przestrzeniach miar, parametrów i zużycia.

Sieci neuronowe nie wymagają poświęcania szczególnej uwagi danym wejściowym. Wystarczy skorzystać z wyciągniętych wcześniej wniosków dotyczących wyboru miar i struktury sieci, a następnie nauczyć sieć oczekiwanego odwzorowania. Sieć perceptronowa dobrze reaguje na zmienne wejściowe. Przy sztucznej inteligencji można z niewielkim błędem szacować zużycie ostrza narzędzia. Błąd ten ulega wyraźnej redukcji przy obniżeniu liczby danych uczących odpowiadających węższemu zakresowi zużycia. Zawężenie takie jest konieczne, ponieważ odwzorowanie danych w zużycie poniżej wartości 0.15 mm jest niemożliwe, a próby uczenia sieci na całych przebiegach miar prowadzą do wzrostu błędów w istotnym przedziale 0.2-0.3 mm. Ponieważ producenci narzędzi skrawających określają wskaźnik stopienia dla nowoczesnych, wielokrotnie pokrywanych wiertel na ok. 0.3 mm (VB), ważniejsza jest znajomość dokładnego zużycia w zakresie od 0.2 do 0.3 mm niż w całym przedziale zmienności tych parametrów. Błąd oceny powyższych wskaźników wynika nie tyle z niedoskonałości samych narzędzi realizujących odwzorowanie, co z rozrzutu użytych miar spowodowanego głównie błędami pomiarowymi przy określaniu zużycia.

W przyszłości planuje się badania nad jakością oceny zużycia dla różnych wskaźników zużycia. Przewiduje się analizę zużycia ostrza na powierzchni przyłożenia na przebiegi siły skrawania. Celem tej analizy będzie znalezienie wskaźnika zużycia najlepiej skorelowanego z miarami siły siły posuwowej i momentu skrawania. Dodatkowo badania rozszerzone zostaną o inne typy sieci - np. samouczącą, a także o hybrydę logiki rozmytej i sieci neuronowych, czyli Neuro-Fuzzy.

Literatura

Szwajka, K., Zielińska-Szwajka, J., Trzecieński, T., 2023: The use of a radial basis function neu-ral network and fuzzy modelling in the assessment of surface roughness in the MDF milling process. *Materials* 16(15), 5292. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16155292>

Byrne, G., Dornfeld, D., Inasaki, I., Ketteler, G., Teti R., 1995: Tool condition monitoring (TCM) - The status of research and industrial application. *Annals of CIRP* 44(2), 541-567. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60503-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60503-4)

Choi, G. S., Wang, Z. X., Dornfeld, D., 1990: Monitoring and control of machining process using neural networks. Progress Report to Omron Electronics.

Dornfeld, D. A., 1990: Neural network sensor fusion for tool condition monitoring. *CIRP Annals* 39(1), 101-105. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61012-9](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61012-9)

Zhou, X., Yu, T., Wang, G., Guo, R., Fu, Y., Sun, Y., Chen, M., 2023: Tool wear classification based on convolutional neural network and time series images during high precision turning of copper. *Wear* 522, 204692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204692>

Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X., Wu, D., 2018: Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems* 48, 144-156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.003>

Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A., 2018: Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems* 48, 157-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>

Xu, L., Huang, C., Li, C., Wang, J., Liu, H., Wang, X., 2021: Estimation of tool wear and optimization of cutting parameters based on novel ANFIS-PSO method toward intelligent machining. *Journal of Intelligent Manufacturing* 32, 77-90. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01559-0>

Saw, L. H., Ho, L. W., Yew, M. C., Yusof, F., Pambudi, N. A., Ng, T. C., Yew, M. K., 2018: Sensitivity analysis of drill wear and optimization using Adaptive Neuro fuzzy - genetic algorithm technique toward sustainable machining. *Journal of Cleaner Production* 172, 3289-3298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.303>

Cheng, Y., Gai, X., Guan, R., Jin, Y., Lu, M., Ding, Y., 2023: Tool wear intelligent monitoring techniques in cutting: a review. *Journal of Mechanical Science and Technology* 37, 289-303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-022-1229-9>

Munaro, R., Attanasio, A., Del Prete, A., 2023: Tool wear monitoring with artificial intelligence methods: A review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 7(4), 129. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp7040129>

Wang, Y., Chang, M., Huang, X., Li, Y., Tang, J., 2023: Cutting tool wear prediction based on the multi-stage Wiener process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 129, 5319-5333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12648-8>

Szwajka, K., Zielińska-Szwajka, J., Trzepieciński, T., 2024: Experimental Analysis of Smart Drilling for the Furniture Industry in the Era of Industry 4.0. *Materials* 17(9), 2033. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17092033>

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 14.05.2025

Opublikowany online / Published online: 19.12.2025

ARTYKUŁY POPULARNO-NAUKOWE

Modyfikacja drewna krajowego - szansa rozwoju oferty produktowej i wzmocnienia konkurencyjności

Michał Drożdżek, Janusz Zawadzki, Paweł Kozakiewicz

Katedra Nauki o Drewnie i Ochrony Drewna, Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-77 Warszawa, www.indm.sggw.pl

Drewno jest materiałem pochodzenia naturalnego, tworzonym siłami przyrody. Surowiec ten ma **szereg zalet** do których należą: dobre właściwości fizyko-mechaniczne, łatwość obróbki, wysokie walory estetyczne oraz wszechstronność użycia. Ocenia się, że obecnie drewno ma ponad 30 tysięcy zastosowań.

W obecnej sytuacji ekonomiczno-prawnej drewno przeżywa swój renesans, zdobywając coraz szersze rzesze użytkowników. Wpisuje się to doskonale we współczesny powrót do wyrobów naturalnych i jednoczesnego odejścia od produktów ropopochodnych i tworzyw sztucznych oraz materiałów energochłonnych takich jakich jak stal i beton (Kozakiewicz i Borysiuk 2023).

Zwiększający się w ostatnich latach nacisk związany z ochroną środowiska a także liczne społeczne trendy o podłożu ekologicznym oraz dążenie przez Unię Europejską (UE) do stworzenia gospodarki w oparciu o zasadę „zero waste” stwarzają coraz większe zapotrzebowanie na wyroby wykonane z surowców pochodzenia naturalnego, do którego zaliczane jest drewno. Dodatkowo należy zauważyć, że obecna polityka UE opierająca się na zwiększeniu zasobów leśnych wymusza presję na lepsze gospodarowanie drewnem oraz maksymalne wydłużenie cyklu życia produktów z niego wykonanych.

Drewno znajduje zastosowanie głównie jako materiał konstrukcyjny, do wykańczania wnętrz, do produkcji mebli, papieru i wielu innych implementacji wykorzystywanych w codziennym życiu przez człowieka.

Niestety drewno jako materiał organiczny narażone jest na różne **czynniki destrukcyjne biotyczne i abiotyczne**, które mogą wpływać na jego odporność, trwałość oraz inne właściwości. Ze względu na swoją hydrofilowość i związaną z tą cechą dużą nasiąkliwość, drewno ma niską stabilność wymiarową (przy zmianach wilgotności silnie się kurczy lub pęcznienie) przez to ma skłonność do pękania i paczenia. Drewno ulega również zmianom barwy w wyniku działania promieniowania UV, ma też stosunkowo małą twardość i jest podatne na ścieranie. Większość gatunków drewna ze strefy umiarkowanej ma także niską odporność na działanie czynników biotycznych w postaci grzybów oraz ksylofagów.

Wymienione czynniki są elementem obniżającym zarówno estetyczne jak i fizyko-mechaniczne właściwości drewna (Krajewski i Witomski 2023). Przedstawione ograniczenia dotyczące drewna spowodowały rozwój sposobów jego modyfikacji. Drewno

można powierzchniowo olejować, lakierować, można też zabezpieczać włącznie za pomocą środków chemicznych, jednak związki te nie są obojętne dla środowiska a kończący cykl życia produkt może sprawiać problemy w procesie przetwarzania powstałych odpadów i recyklingu. Obecnie jedną z najlepszych odpowiedzi na te wyzwania wydaje się być **modyfikacja termiczna drewna**. Proces ten można uznać jako neutralny dla środowiska i nie skutkujący wprowadzaniem do drewna obciążających związków chemicznych. Drewno po procesie termowania charakteryzuje się większą odpornością biologiczną, a zmiany wymiarowe są dużo mniejsze. Na uwagę zasługuje także zmiana barwy, która staje się ciemniejsza i bardziej jednolita na całej płaszczyźnie elementu (Esteves i Pereira 2001, Kozakiewicz i in. 2022, Bytner 2023). Zmiana barwy drewna na wyraźnie ciemniejszą w trakcie procesu termowania (np. krajowe, niemal białe drewno topoli, brzozy i jesionu staje się czekoladowo brązowe) uznawana jest przez nabywców takiego drewna za dużą zaletę. Ciemne drewno krajowe imituje kolorystykę gatunków egzotycznych, stając się zwykle ich tańszym i łatwiej dostępnym substytutem, co dodatkowo podnosi atrakcyjność takich produktów w oczach potencjalnych nabywców.

Modyfikacja termiczna to proces obróbki drewna w temperaturze głównie w zakresie od 150°C do 240°C w środowisku o obniżonej zawartości tlenu (poniżej 2%). Ogrzewanie drewna w tak wysokich temperaturach wymaga **specjalnego środowiska**, tak aby nie ulegało ono zapaleniu (Hill 2006). Można do tego celu stosować gazy obojętne (para wodna, azot, gazy spalinowe), proces może być prowadzony w podciśnieniu a także w cieczach o wysokiej temperaturze wrzenia (np. w oleju). W trakcie procesu termowania z drewna uwalniane są poprzez termiczny rozpad oraz autohydrolizę grup funkcyjnych hemiceluloz związki małowcząsteczkowe. Drewno jest częściowo uwalniane od hemiceluloz, które są głównym istotnym składnikiem pokarmowym dla grzybów są także silnie higroskopijnym składnikiem strukturalnym. Odpowiadają one w znacznym stopniu za zmiany wymiarowe zachodzące w użytkowanych materiałach drzewnych. Usunięcie hemiceluloz powoduje obniżenie gęstości drewna oraz w niewielkim stopniu obniżenie jego niektórych właściwości mechanicznych. Jednocześnie drewno, w całym przekroju, objętości silnie ciemnieje, a powstała barwa może być trwalsza od wyjściowej naturalnej barwy danego gatunku. W trakcie rozpadu hemiceluloz powstają też liczne związki, które naturalnie zbliżone są do związków wytwarzanych w drewnie twardzielowym przez co podnoszona jest naturalna trwałość zmodyfikowanego drewna. W trakcie modyfikacji termicznej zmiana ulega też ilość substancji ekstrakcyjnych w drewnie (DeGroot i in. 1988, Garrote i in. 2001).

Modyfikację termiczną na skalę przemysłową rozwijano od lat 70 XX wieku. Najczęściej wymienianymi w literaturze metodami stosowanymi w tej skali są FWD (Feuchte, Wärme, Druck), Plato (*Proving Lasting Advanced Timber Option*), Le Bois (Pendure), Retification oraz OHT (*Oil Heat Treatment* - termowanie w oleju) (Sandberg i Kutnar, 2016). Dodatkowo w latach '90 w Finlandii na szeroką skalę rozwinęła się koncepcja modyfikacji drewna iglastego w parze przegrzanej powszechnie znana jako ThermoWood. Jest to również obecnie najczęstsza forma modyfikacji drewna natywnego w Europie (Doczekalska 2010).

Prace nad optymalizacją procesu tremowania trwają nadal. Jednym z kierunków jest obniżenie temperatury wygrzewania drewna poprzez wykonanie modyfikacji w podciśnieniu. Proces taki daje możliwość zbierania powstającego kondensatu. Zmniejszenie ciśnienia procesu (zastosowanie podciśnienia) przyspiesza przebieg procesu modyfikacji przy jednocześnie obniżonej temperaturze co przekłada się na ekonomiczne aspekty, czyli oszczędność energii (Hill 2021, Zelinka i in. 2022). Procesy modyfikacji termicznej drewna są badane w Instytucie Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW w Warszawie od wielu lat. W trakcie tych badań prowadzone były projekty NCBiR, w których obróbce termicznej poddawano drewno. Pracownicy Jednostki dokonali także zgłoszenia, które zostało objęte patentem i dotyczy ono modyfikacji drewna prowadzonej w atmosferze azotu i opcji hybrydowej połączonej z modyfikacją termomechaniczną (nr patentu - 242309, 2023).

W Polsce znane i powszechnie dostępne są produkty wykonane z drewna modyfikowanego. Są to najczęściej deski podłogowe. Można też zakupić całe systemy małej architektury ogrodowej w postaci altanek, desek tarasowych czy desek elewacyjnych oraz saun ogrodowych z tremowanego drewna różnych gatunków. Rynek ten w Polsce w ostatniej dekadzie rozwija się bardzo dynamicznie, pojawiają się kolejne zakłady i linie produkcyjne służące do modyfikacji drewna. Przykładowymi zakładami na terenie Polski, które korzystają z procesu modyfikacji termicznej drewna są „Parkiety Jabłoński” z Tchórznicy oraz „PPHU Eurex” z Brąszewic.

W zastosowaniach o szczególnie intensywnej eksploatacji drewna, decydującym parametrem są właściwości mechaniczne, co wpływa na wybór odpowiedniego gatunku. O ile modyfikacja termiczna wpływa na obniżenie niektórych właściwości mechanicznych drewna, to znane są sposoby na jej zwiększenie. Jedną z perspektywicznych metod jest zagęszczanie drewna zarówno natywnego jak i modyfikowanego termicznie. Zagęszczenie drewna zwiększa jego gęstość i twardość oraz podnosi wytrzymałość na ściskanie (wzrost tych parametrów może być nawet dwukrotny względem poziomu wyjściowego). Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia materiałów posadzkowych układanych w miejscach o intensywnym użytkowaniu takich jak hole w hotelach, na lotniskach i biurach oraz przemysłowych np. rampy przeładunkowe, ciągi komunikacyjne w halach produkcyjnych. Ponadto drewno zagęszczone ze względu na mniejszą porowatość jest mniej hydrofilowe a jego bardziej gładka powierzchnia sprawia, że materiał ten staje się trudniej zapalny w odniesieniu do drewna natywnego. Cecha ta wydaje się być szczególnie istotna w przypadku stosowania drewna w budynkach użyteczności publicznej. Tak wytworzone materiały charakteryzują się również lepszą przewodnością cieplną, która jest szczególnie istotna w przypadku budynków ogrzewanych w systemach niskotemperaturowych (systemy w oparciu o ogrzewanie podłogowe) (Kutnar i Senek 2007). Przedstawione metody modyfikacji drewna są przyszłościowe a ich wdrażanie w sposób zdecydowany zwiększa konkurencyjność polskich i europejskich firm. Produkty powstałe na bazie drewna krajowego w procesie modyfikacji termicznej i termomechanicznej stanowią pełnowartościowy

zamiennik dla silnie zabarwionych, twardych i naturalnie odpornych na działanie czynników biotycznych drewna gatunków egzotycznych. Atutem krajowych produktów jest pewność ich pochodzenia oraz transparentność całego procesu przetwarzania z dbałością o środowisko i zrównoważony rozwój. Do zakładów wykorzystujących tę technologię można zaliczyć firmy „Versal Sp z o.o.” z Wyszkowa oraz „Barański Drzwi Sp. z o.o.” z miejscowości Babięty Wielkie.

Literatura

Bytner, O. Badanie wpływu modyfikacji termicznej w atmosferze azotu na wybrane właściwości drewna topoli, Praca Doktorska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2023

DeGroot, W.F.; Pan, W.-P.; Rahman, M.D.; Richards, G.N. First chemical events in pyrolysis of wood. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 1988, 13, 221-230

Doczekalska, B. Badania nad modyfikacją drewna w aspekcie jego wykorzystania jako napełniacza polipropylenu, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 2010

Esteves, B.; Pereira, H. Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources* 2009, 4, 370-404

Garrote, G.; Dominguez, H.; Parajo, J. Study on the deacetylation of hemicelluloses during the hydrothermal processing of Eucalyptus wood. *Holz Roh Werkst.* 2001, 59, 53-59

Hill, C.; Altgen, M.; Rautkari, L. Thermal modification of Wood - A review: Chemical changes and hygroscopicity. *J. Mater. Sci.* 2021, 56, 6581-661

Hill, C., Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley&Sons Ltd 2006

Kozakiewicz, P., Laskowska, A., Drożdżek, M., Zawadzki, J.: Influence of Thermal Modification in Nitrogen Atmosphere on Physical and Technological Properties of European Wood Species with Different Structural Features. *Coatings*, 2022, 12, 11, 1-21, Numer artykułu: 1663. DOI:10.3390/coatings12111663

Kozakiewicz, P., Borysiuk, P., Nowe możliwości zastosowania drewna i jego racjonalne wykorzystanie W: Leśnictwo Polski wobec wyzwań polityki Unii Europejskiej: Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa XIII sesja / Adam Kaliszewski (red.), 2023, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, 241-257, ISBN 978-83-67801-05-8. DOI:10.13140/RG.2.2.24352.97284

Krajewski, A., Witomski, P. 2023. Ochrona Drewna - Surowca i Materiału. ISBN 978-83-8237-089-8, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 395

Kutnar, A., Sernek, M. Densification of wood. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva.* 2007, 82, 53-62

Grzeškiewicz, M., Drożdżek, M., Kozakiewicz, P., Laskowska, A., Radomski, A., Gawron, J., Bytner, O. Patent 242309, Sposób modyfikacji drewna, 2023

Sandberg, D.; Kutnar, A. Thermally modified timber: Recent developments in Europe and North America. *Wood Fiber Science*, 2016, 48, 28-39

Zelinka, S.L.; Altgen, M.; Emmerich, L.; Guigo, N.; Keplinger, T.; Kymäläinen, M.; Thybring, E.E.; Thygesen, L.G. Review of Wood Modification and Wood Functionalization Technologies. *Forests* 2022, 13, 1004. <https://doi.org/10.3390/f13071004>

STATYSTYKA

Produkcja i handel płyt drewnopochodnych na świecie w 2022 r. na podstawie danych FAOSTAT

W poprzednim numerze BI 3-4/2024 przedstawiono dane statystyczne z FAOSTAT, za lata 2022-2023 dotyczące cen importu i eksportu w USD/m³ obliczonych na podstawie wartości (w tys. USD) na wielkość produkcji (w tys. m³).

W obecnym numerze znajdują się dane statystyczne za 2022-2023 r. (aktualne na dzień 07.07.2025) dotyczące wielkości produkcji, importu, eksportu, obliczonej konsumpcji (produkcja + import - eksport) oraz dynamika produkcji z roku 2022 na rok 2023 dla wszystkich wyżej wymienionych płyt drewnopochodnych.

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.

Dane za 2022 r. w większości przypadków zostały zaktualizowane względem tych znajdujących się w opracowaniu BI 1-2/2024. Aktualne dane mają przeważnie wyższe wartości.

Analizując dane można stwierdzić, że w 2023 r. wielkość produkcji większości płyt na świecie zmniejszyła się wyjątkiem są płyty wiórowe i OSB.

Tabela 1. Światowa produkcja i handel płyt drewnopochodnych w latach 2022-2023 r. (tys. m³)

Rodzaj płyt	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
MDF/HDF	2022	101779	18572	19786	100565	
	2023	98378	16906	19321	95963	-3%
HB	2022	7622	3492	2896	8218	
	2023	7416	29374	2365	34425	-3%
oFB	2022	8138	3411	3560	7989	
	2023	7456	2957	3054	7359	-8%
PB	2022	109282	22307	20940	110649	
	2023	116608	21356	20988	116976	7%
OSB	2022	38123	11448	11294	38277	
	2023	41734	10734	10608	41860	9%
Sklejka	2022	111306	32942	30806	113442	
	2023	109282	22307	28464	103125	-2%

Płyty MDF/HDF na świecie

Wielkość produkcji płyt MDF/HDF na świecie w 2023 r. spadła najwięcej wśród analizowanych płyt, o 3%, czyli o ok. 3,4 mln m³ w stosunku do danych z 2022 r. i wynosiła ok. 98,4 mln m³.

Tabela 2. Produkcja, eksport, import MDF/HDF na kontynentach 2022-2023 r. (tys. m³)

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Azja	2022	69023	6104	7972	67155	
	2023	67748	6020	9203	64565	-2%
Europa	2022	19950	6616	8831	17735	
	2023	18713	5848	7583	16978	-6%
Ameryka Południowa	2022	7033	452	1186	6299	
	2023	6882	351	888	6345	-2%
Ameryka Północna	2022	3833	3488	1014	6307	
	2023	3186	2606	1006	4786	-17%
Oceania	2022	1310	123	605	828	
	2023	1194	164	437	921	-9%
Afryka	2022	602	1147	107	1642	
	2023	626	1310	132	1804	4%

Wiodącym producentem płyt MDF/HDF wśród kontynentów była nadal Azja. W 2023 r. nastąpił spadek wielkość produkcji, o 2%, czyli ok. 1,2 mln m³. W tym samym czasie import spadł nieznacznie o 0,1 mln m³ w stosunku do 2022 r., eksport natomiast wzrósł znacząco z 8 do 9,2 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 2,6 mln m³.

Na drugim miejscu, co do wielkości produkcji płyt MDF/HDF znajdowała się Europa. W 2023 r. wielkość produkcji spadła, o 6%, czyli ok. 1,2 mln m³. Jednocześnie spadł również import o ok. 0,8 mln m³ oraz eksport ok. 1,3 mln m³.

W 2023 r. w Ameryce Południowej nastąpił nieznaczny spadek produkcji o ok. 0,1 mln m³, czyli ok. 2% w stosunku do 2022 r. W analizowanym okresie nastąpił również niewielki spadek wielkości importu o ok. 0,1 mln m³, oraz eksportu natomiast o ok. 0,3 mln m³. Konsumpcja utrzymała się na podobnym poziomie.

W Ameryce Północnej w 2023 r. wystąpił znaczący spadek wielkości produkcji płyt MDF/HDF ok. 0,6 mln m³, co stanowi 17% w stosunku do 2022 r. Wielkość importu spadła również o ok. 0,9 mln m³, a eksportu utrzymała się na podobnym poziomie. Konsumpcja spadła również o ok. 1,5 mln m³.

Niewielki wpływ na gospodarkę płytami MDF na świecie miała Oceania. W 2023 r. wielkość produkcji spadła o 0,1 mln m³ co stanowiło aż 9%, Import wzrósł nieznacznie a eksport spadł ok. 0,2 mln m³ w stosunku do 2022 r.

Dane FAOSTAT dla Afryki z 2023 r. dotyczące wielkości produkcji nieznacznie się zmieniły i wynoszą ok. 0,6 mln m³. W analizowanym okresie wzrosły import oraz konsumpcja o ok. 0,1 mln m³. Eksport nieznacznie wzrósł ale nadal był niski ok. 0,1 mln m³.

Najwięksi producenci płyt MDF na świecie

Na świecie w 2023 r. największym producentem oraz konsumentem płyt MDF/HDF były Chiny, produkcja tych płyt w Chinach stanowiła blisko 50% produkcji światowej. Wielkość produkcji spadła o ok. 2,1 mln m³, czyli 4%. Import był niewielki i spadł z 0,2 do 0,1 mln m³.

W analizowanym okresie można zauważyć wzrost eksportu o ok. 0,3 mln m³ w stosunku do 2022 r. Konsumpcja spadła o ok. 1,8 mln m³ pomimo to była nadal największa w świecie.

Tabela 3. Produkcja, eksport, import MDF/HDF w wybranych krajach (najwięksi producenci) w 2022-2023 r. (tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Chiny	2022	50352	165	2578	47939	
	2023	48455	117	2845	45727	-4%
Turcja	2022	6250	164	1091	5323	
	2023	6450	25	1402	5073	3%
Brazylia	2022	5180	2	865	4317	
	2023	5320	3	886	4437	3%
Tajlandia	2022	4460	10	2880	1590	
	2023	4500	10	3351	1159	1%
Rosja	2022	3929	108	771	3266	
	2023	3821	109	645	3285	-3%
Niemcy	2022	3792	424	2345	1871	
	2023	3387	375	2119	1643	-11%
Polska	2022	3052	470	605	2917	
	2023	2666	368	519	2515	-13%

Na drugim miejscu była Turcja. Wielkość produkcji w 2022 r. wzrosła o 3% w stosunku do 2022 r., czyli ok. 0,2 mln m³. Import spadł o ok. 0,1 mln m³, a eksport wzrósł znacząco o ok. 0,3 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 0,3 mln m³, co może świadczyć o zmniejszeniu zapotrzebowania na płyty MDF w tym kraju.

Na trzecim miejscu znajdowała się Brazylia. W 2023 r. wielkość produkcji wzrosła nieznacznie, o 3%, czyli 0,1 mln m³. Import był marginalny a eksport utrzymał się na podobnym poziomie 0,9 mln m³, co w 2022 r. Wielkość konsumpcji wzrosła o ok. 0,1 mln m³.

W 2023 r. w Tajlandii wielkość produkcji płyt MDF/HDF wzrosła nieznacznie o ok. 40 tys. m³. Import był marginalny a eksport zwiększył się znacząco o ponad 0,5 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 0,4 mln m³ w stosunku do 2022 r.

W 2023 r. Rosji wielkość produkcji spadła o 0,1 mln m³, czyli 3%. Import utrzymał się na niskim poziomie ok. 0,1 mln m³ natomiast eksport spadł o ok. 0,1 mln m³.

W 2023 r. w Niemczech wielkość produkcji MDF/HDF spadła znacząco o ok. 0,4 mln m³, co stanowi spadek 11% w stosunku do 2022 r. Niższe wartości miały również wielkości importu o ok. 50 tys. m³ oraz eksportu o ok. 0,2 mln m³. Konsumpcja spadła o 0,2 mln m³.

W Polsce wielkość produkcji w 2023 r. spadła w stosunku do 2022 r., aż, o 13%, czyli ok. 0,4 mln m³. W tym samym czasie import i eksport również spadły ok. 0,1 mln m³. Konsumpcja spadła proporcjonalnie do spadku produkcji o ok. 0,4 mln m³.

Płyty pilśniowe twarde na świecie

Według danych FAOSTAT produkcja płyt HB w 2023 r. na świecie spadła o ok. 0,2 mln m³, co stanowi 3% spadek w stosunku do 2022 r.

Tabela 4. Produkcja, eksport, import HB na kontynentach 2022-2023 r. (tys. m³)

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Azja	2022	4421	502	673	4250	
	2023	4414	489	606	4297	0%
Europa	2022	2019	2339	1712	2646	
	2023	1809	1935	1372	2372	-10%
Ameryka Południowa	2022	458	89	160	387	
	2023	461	60	205	316	1%
Ameryka Północna	2022	302	302	188	416	
	2023	302	333	160	475	0%
Oceania	2022	0	68	5	63	
	2023	0	68	4	64	
Afryka	2022	303	124	11	416	
	2023	310	145	18	437	2%

Wiodącym producentem płyt HB wśród kontynentów w 2023 r. była Azja. Wielkość produkcji tych płyt w porównaniu do 2022 r. utrzymała się na tym samym poziomie ok. 4,4 mln m³. Import spadł nieznacznie o ok. 10 tys. m³, eksport spadł o 70 tys. m³.

Z danych FAOSTAT wynika, że w 2023 r. wielkość produkcji w Europie znacząco spadła o ok. 0,2 mln m³, czyli aż 10% spadku w porównaniu do wcześniejszego roku. Import i eksport w Europie 2023 r. spadły o ok. 0,4 mln m³. W analizowanym okresie w Europie konsumpcja płyt HB spadła o ok. 0,3 mln m³, co może świadczyć o nasyceniu rynku.

W 2023 r. Ameryce Południowej wielkość produkcji była na podobnym poziomie, co w 2022 r. ok. 0,45 mln m³. Import w tym czasie spadł o ok. 30 tys. m³, a eksport spadł o ok. 40 tys. m³.

Dane FAOSTAT dotyczące wielkość produkcji płyt HB w Ameryce Północnej w 2023 r. zostały powtórzone z 2022 r. i wynosiły ok. 0,3 mln m³. Wielkość importu nieznacznie wzrosła a eksportu nieznacznie spadła w porównaniu do 2022 r.

W Oceanii nadal brak produkcji płyt HB, niewielki import i eksport w 2022 r. utrzymywały się na tym samym poziomie.

W Afryce wielkość produkcji w 2023 r. nieznacznie wzrosła o 10 tys. m³ pomimo to jest niewielka nadal i wynosi ok. 0,3 mln m³, natomiast wielkość importu i eksportu w 2023 r. minimalnie wzrosła w stosunku do 2022 r.

Najwięksi producenci płyt HB na świecie

Wiodącym producentem płyt HB w 2023 r. były Chiny. Na drugim i trzecim miejscu znalazły się kolejno Białoruś i Ukraina. Dane FAOSTAT za 2023 r. dla tych trzech państw dotyczące wielkości produkcji są powtórzone z 2022 r. i mają tę samą wielkość jak w 2022 r. Dane dotyczące handlu płyt HB z 2023 r. również nie zmieniły się znacząco. W Chinach import i eksport spadł o ok. 10 tys. m³. W Białorusi dane dotyczące importu są powtórzone z 2022 r. a eksport spadł o 30 tys. m³. W Ukrainie wielkość handlu była niska w porównaniu do produkcji dane FAOSTAT za 2023 r., dotyczące, importu i eksportu są powtórzone.

Tabela 5. Produkcja, eksport, import HB w wybranych krajach (najwięksi producenci) w 2022-2023 r. (tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Chiny	2022	3887	47	141	3793	
	2023	3887	30	133	3784	0%
Białoruś	2022	488	19	70	437	
	2023	488	19	40	467	0%
Ukraina	2022	382	13	29	366	
	2023	382	13	29	366	0%
Rosja	2022	350	43	81	312	
	2023	338	39	47	330	-3%
Brazylia	2022	300	1	112	189	
	2023	300	1	149	152	0%
Tajlandia	2022	255	6	78	183	
	2023	255	5	93	167	0%
USA	2022	212	249	224	237	
	2023	212	173	99	286	0%

W Rosji w 2023 r. wielkość produkcji spadła nieznacznie o ok. 10 tys. m³, czyli o 3%. Import utrzymał się na podobnym niskim poziomie ok. 40 tys. m³, eksport natomiast spadł z ok. 81 do ok. 47 tys. m³.

Dane FAOSTAT za 2023 r. dotyczące wielkości produkcji w Brazylii, Tajlandii i USA również zostały powtórzone z roku 2022. Import w Brazylii był marginalny a, eksport wzrósł z 112 do 149 tys. m³. W Tajlandii import pozostał na tym samym niskim poziomie, eksport wzrósł z 78 do 93 tys. m³. W USA import i eksport spadły o ok. 0,1 mln m³.

Pozostałe płyty pilśniowe na świecie (oFB)

Do tej grupy płyt zaliczane są wszystkie pozostałe rodzaje płyt pilśniowych, produkowane metodą suchą płyty o niskiej gęstości (LDF) oraz metodą moką płyty półtwarde (MB) i porowate (SB). Płyty te stanowią głównie płyty izolacyjne stosowane, jako docieplenie budynków. Wielkość produkcji płyt oFB na świecie w 2023 r. wynosiła ok. 7,4 mln m³ i spadła znacząco, o ok. 8%, czyli o ok. 0,7 mln m³ w stosunku do danych z 2022 r.

Tabela 6. Produkcja, eksport, import oFB na kontynentach 2022-2023 r. (tys. m³)

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Ameryka Północna	2022	3274	319	403	3190	
	2023	3274	225	318	3181	0%
Europa	2022	3756	2443	2084	4115	
	2023	3099	2248	1728	3619	-17%
Azja	2022	1070	509	1038	541	
	2023	1045	376	987	434	-2%
Ameryka Południowa	2022	33	8	2	39	
	2023	33	5	2	36	0%
Oceania	2022	0	14	9	5	
	2023	0	10	12	-2	
Afryka	2022	0	83	24	59	
	2023	0	64	7	57	

Wiodącym producentem płyt oFB wśród kontynentów w 2023 r. była Ameryka Północna. W 2023 r. wartość wielkości produkcji płyt oFB w 2022 r. jest przepisana z poprzedniego roku. Import spadł o ok. 50 tys. m³, a eksport o ok. 0,1 mln m³.

Europa znalazła się na drugim miejscu po znacznym spadku wielkości produkcji o 17% ok. 0,7 mln m³ w porównaniu do 2022 r. W tym czasie spadł również import o ok. 0,2 mln m³ oraz eksport o ok. 0,3 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 0,4 mln m³. Spadek wielkości produkcji i konsumpcji w Europie oznacza, że zapotrzebowanie na płyty oFB spadło i jest to najprawdopodobniej związane z zastojem zmniejszeniem budownictwa.

Na trzecim miejscu znalazła się Azja. Wielkość produkcji w 2023 r. spadła o 25 tys. m³, czyli o 2%. W tym samym czasie wielkość importu i eksportu spadła o ok. 0,1 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 0,1 mln m³.

W Ameryce Południowej, Afryce oraz Oceanii w 2022 r. wielkość produkcji i handlu były zerowe lub niskie i nadal nie miały wpływu na gospodarkę płytami oFB.

Najwięksi producenci płyt oFB na świecie

Wiodącym producentem płyt oFB były Stany Zjednoczone. W 2023 r. wielkość produkcji została powtórzona z 2022 r. i wynosiła 3,2 mln m³. Wielkości importu spadła o ok. 40 tys. m³, natomiast eksportu o ok. 60 tys. m³. Konsumpcja utrzymała się na podobnym poziomie, co w 2022 r.

W 2022-2023 r. w Polsce odnotowano największy spadek wielkości produkcji wśród analizowanych krajów o ok. 0,4 mln m³, czyli 20%. Import był marginalny a eksport znacząco spadł o ok. 0,2 mln m³. W 2023 r. Polska nadal była największym eksporterem płyt oFB na świecie.

Na trzecim miejscu znajdowały się Niemcy. Tu również w 2023 r. nastąpił znaczący spadek wielkości produkcji o ok. 0,2 mln m³, czyli 14%. W tym czasie spadł również import o ok. 0,2 mln m³, eksport utrzymał się na podobnym poziomie. Niemcy nadal były największym importerem płyt oFB na świecie i jednym z większych eksporterów.

Konsumpcja spadła znacząco o ok. 0,4 mln m³, co świadczy o mniejszym zapotrzebowaniu na płyt oFB w tym kraju.

Tabela 7. Produkcja, eksport, import płyt oFB w wybranych krajach (najwięksi producenci) w 2022-2023 r. (tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
USA	2022	3179	161	294	3046	
	2023	3179	121	233	3067	0%
Polska	2022	1828	33	940	921	
	2023	1461	9	715	755	-20%
Niemcy	2022	1402	966	624	1744	
	2023	1211	746	628	1329	-14%
Chiny	2022	321	16	11	326	
	2023	321	9	10	320	0%
Tajlandia	2022	307	6	559	-246	
	2023	307	7	557	-243	0%
Japonia	2022	290	1	1	290	
	2023	265	1	1	265	-9%
Indonezja	2022	115	5	51	69	
	2023	178	3	56	125	55%

Dane FAOSTAT z 2023 r. dla Chin dotyczące wielkości produkcji są powtórzone. Wielkość importu była niska spadła o 7 tys. m³, eksport był marginalny.

W Tajlandii w 2023 r. wielkość produkcji nie zmieniła się w porównaniu do poprzedniego roku i wynosiła ok. 0,3 mln m³. Import był marginalny, eksport utrzymał się na podobnym poziomie 0,55 mln m³, i jego wielkość przekraczała wielkość produkcji o ok. 0,2 mln m³. Dane dotyczące wielkości produkcji lub eksportu nie są oficjalne i wydają się niewiarygodne, ponieważ jak wynika z wcześniejszych opracowań od wielu lat wartość eksportu przewyższa wielkość produkcji.

W Japonii wielkość produkcji w 2023 r. spadła, o 9%, czyli o 25 tys. m³. Import i eksport nie zmienił się, był marginalny.

W Indonezji w 2023 r. wielkość produkcji wzrosła aż o 55% z 115 do 178 tys. m³. Import utrzymał się na marginalnym poziomie, eksport również się nie zmienił znacząco i wynosił ok. 50 tys. m³. Konsumpcja wzrosła proporcjonalnie do wzrostu produkcji.

Płyty PB na świecie

Z danych statystycznych FAOSTAT wynika, że wielkość produkcji PB na świecie wzrosła w stosunku do 2022 r., o ok. 7,3 mln m³ i wynosiła ok. 116,6 mln m³ w 2023 r. Wzrost wielkości produkcji jest wynikiem Azji na pozostałych kontynentach odnotowano spadki.

Wiodącym producentem PB wśród kontynentów w 2023 r. była Azja. W 2022-2023 r. wielkość produkcji w Azji zgodnie z wcześniejszą tendencją wzrosła o 16% z 50,9 do 59,3 mln m³. Import spadł o ok. 0,2 mln m³, a eksport wzrósł o ok. 0,5 mln m³. Wielkość

konsumpcji wzrosła o ok. 7,9 mln m³, co świadczy nadal o dużym zapotrzebowaniu na PB w Azji.

Tabela 8. Produkcja, eksport, import PB na kontynentach 2022-2023 r. (tys. m³)*

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Azja	2022	50899	6212	4525	52586	
	2023	59290	6419	5068	60641	16%
Europa	2022	44180	12022	13839	42363	
	2023	43966	11163	13413	41716	0%
Ameryka Północna	2022	6113	1745	1192	6666	
	2023	5596	1445	1053	5988	-8%
Ameryka Południowa	2022	4885	1040	1075	4850	
	2023	4568	890	1056	4402	-6%
Oceania	2022	1093	85	74	1104	
	2023	1085	162	69	1178	-1%
Afryka	2022	1244	839	175	1908	
	2023	1236	945	294	1887	-1%

Na drugim miejscu, co do wielkości produkcji płyt wiórowych PB w 2023 r. znajdowała się Europa. Tu wielkość produkcji spadła nieznacznie o ok. 0,2 mln m³ i wynosiła ok. 44 mln m³. Import również spadł o ok. 1,2 mln m³, eksport natomiast o 0,4 mln m³. Wielkość konsumpcji spadła o ok. 0,7 mln m³, co świadczy o spadku zapotrzebowania na PB w Europie.

W Ameryce Północnej wielkość produkcji PB w 2023 r. spadła o 8% (ok. 0,5 mln m³) i wynosiła ok. 5,6 mln m³. W tym czasie spadły import o ok. 0,3 mln m³, jak i eksport o ok. 0,15 mln m³. Wielkość konsumpcji utrzymała się na podobnym poziomie.

W Ameryce Południowej w 2023 r. wielkość produkcji PB spadła o 8% (ok. 0,4 mln m³) w porównaniu z 2022 r. W tym samym czasie import nieznacznie spadł a eksport utrzymał się na podobnym poziomie. Wielkość konsumpcji spadła o ok. 0,5 mln m³.

W 2023 r. w Oceanii wielkość produkcji nieznacznie spadła (ok. 12 tys. m³). Import wzrósł prawie dwukrotnie z 85 do 162 tys. m³, a eksport był niewielki i utrzymywały się na podobnym poziomie, co w 2022 r.

W Afryce dane FAOSTAT dotyczące wielkości produkcji w 2023 r. nieznacznie spadły. Import i eksport wzrosły natomiast o ok. 0,1 mln m³.

Najwięksi producenci PB na świecie

Na świecie największym producentem oraz konsumentem PB w 2023 r. były Chiny. Wielkość produkcji i konsumpcja wzrosły znacząco, o 21%, czyli o ok. 7,8 mln m³ w porównaniu do 2022 r., co świadczy o dużym popycie na PB. Wzrost wynika z powstawania w Chinach nowych linii produkcyjnych firmy Dieffenbacher (BI 1-2/2024 Nowe inwestycje). Wielkość importu nieznacznie spadła (ok. 30 tys. m³), a eksportu nieznacznie wzrosła (ok. 10 tys. m³).

Na drugim miejscu znajdowała się Rosja. Wielkość produkcji w 2023 r. wzrosła znacząco o 12% z ok. 6,7 do 7,4 mln m³. Import był niewielki i utrzymywał się na podobnym poziomie, eksport natomiast spadł ok. 0,1 mln m³.

W analizowanym okresie w Turcji wielkość produkcji wzrosła o 3%, czyli 0,15 mln m³. Import był niski wzrósł o ok. 20 tys. m³, eksport spadł o ok. 0,1 mln m³.

Tabela 9. Produkcja, eksport, import PB w wybranych krajach (najwięksi producenci) w 2022-2023 r. (tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Chiny	2022	36224	1317	442	37099	
	2023	43991	1285	452	44824	21%
Rosja	2022	6660	33	987	5706	
	2023	7429	31	894	6566	12%
Turcja	2022	5625	19	1088	4556	
	2023	5770	30	1029	4771	3%
Niemcy	2022	5526	1970	1924	5572	
	2023	5051	1707	1739	5019	-9%
Polska	2022	5233	1392	899	5726	
	2023	4936	1332	623	5645	-6%
Tajlandia	2022	4300	5	2341	1964	
	2023	4890	6	2883	2013	14%
USA	2022	4488	1192	483	5197	
	2023	3988	948	429	4507	-11%

W Niemczech w 2023 r. wielkość produkcji spadła, o 9%, czyli ok. 0,5 mln m³ w porównaniu do 2022 r. Import spadł o ok. 0,2 mln m³, eksport natomiast o ok. 0,3 mln m³.

Jednym z większych producentów oraz importerów była Polska. W latach 2022-2023 wielkość produkcji spadła o 6% i wynosi ok. 4,9 mln m³. W tym samym czasie nastąpił również nieznaczny spadek importu PB (ok. 60 tys. m³), oraz znaczący spadek eksportu z 0,9 do 0,6 mln m³. Konsumpcja spadła nieznacznie ok. 0,1 mln m³.

Po stosunkowo dużym 14% wzroście wielkości produkcji wśród największych producentów znalazła się Tajlandia. Wielkość produkcji w 2023 r. wynosiła ok. 4,9 mln m³. Import był marginalny, eksport natomiast wyraźnie wzrósł z 2,3 do 2,8 mln m³.

W USA wielkość produkcji PB spadła znacząco w 2023 r. o 0,5 mln m³, czyli 11%. Import w tym okresie spadł o ok. 0,3 mln m³, eksport spadł nieznacznie (ok. 50 tys. m³). Z danych wynika, że nastąpił znaczny spadek konsumpcji o ok. 0,7 mln m³. co świadczy o zahamowaniu popytu na PB w kraju w 2023 r.

Płyty OSB na świecie

Z danych statystycznych FAOSTAT dla produkcji płyt OSB dla całego świata wynika, że wielkość produkcji w 2023 r. wzrosła w porównaniu do 2022 r., o 9%, czyli ok. 3,6 mln m³ i wynosiła ok. 41,7 mln m³ w 2023 r.

Tabela 10. Produkcja, eksport, import OSB na kontynentach 2022-2023 r. (tys. m³)

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Ameryka Północna	2022	20862	6276	5966	21172	
	2023	19782	5795	5639	19938	-5%
Azja	2022	7215	903	256	7862	
	2023	11615	903	265	12253	61%
Europa	2022	9419	3940	4839	8520	
	2023	9781	3729	4494	9016	4%
Ameryka Południowa	2022	627	168	230	565	
	2023	556	200	206	550	-11%
Oceania	2022	0	67	0	67	
	2023	0	21	0	21	
Afryka	2022	0	14	1	13	
	2023	0	21	1	20	

W 2023 r. w Ameryce Północnej wielkość produkcji OSB spadła, o 5%, czyli ok. 1 mln m³ w stosunku do 2022 r. W tym samym czasie również spadł import o ok. 0,5 mln m³ oraz eksport o ok. 0,5 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 1,3 mln m³.

Z danych FAOSTAT wynika, że zgodnie z wcześniejszymi tendencjami w 2023 r. w Azji nastąpił dalszy wzrost wielkości produkcji aż 61% w stosunku do roku poprzedniego z 7,2 do 11,6 mln m³. Import i eksport natomiast utrzymały się na podobnym poziomie, co spowodowało, że konsumpcja z roku na rok zwiększyła się proporcjonalnie do wielkości produkcji aż o ok. 4,2 mln m³, co oznacza, że popyt na OSB w Chinach jest nadal duży.

W Europie w 2023 r. wielkość produkcji OSB wzrosła, o 4%, czyli ok. 0,25 mln m³ w stosunku do 2022 r. W analizowanym okresie import spadł o ok. 0,2 mln m³, a eksport o ok. 0,3 mln m³. Konsumpcja wzrosła ok. 0,5 mln m³, co oznacza, że zapotrzebowanie na OSB w Europie wzrosło.

W Ameryce Południowej w 2023 r. wielkość produkcji OSB ponownie spadła o ok. 70 tys. m³, co stanowiło 11% wielkości produkcji z 2022 r. Import wzrósł o ok. 30 tys. m³, eksport natomiast spadł o ok. 30 tys. m³, co spowodowało, że konsumpcja utrzymała się na podobnym poziomie.

W Oceanii i Afryce w 2023 r. nie produkowano OSB a handel tymi płytami był marginalny.

Najwięksi producenci płyt OSB na świecie

W USA największego producenta i importera płyt OSB wielkość produkcji w 2023 r. spadła o ok., 5%, czyli 0,6 mln m³ w porównaniu do poprzedniego roku. Dane FAOSTAT dotyczące importu zostały powtórzone. Eksport, który był niewielki spadł o ok. 30 tys. m³. Jednocześnie konsumpcja spadła o ok. 0,6 mln m³.

Drugim krajem pod względem wielkości produkcji były Chiny. Wielkość produkcji podobnie jak w poprzednich latach wzrosła znacząco o 63% (4,4 mln m³), co może

świadczą o powstaniu nowych linii i zakładów produkujących płyty OSB. Import był niewielki i spadł o ok. 40 tys. m³. Eksport utrzymał się na podobnym poziomie 0,1 mln m³.

Tabela 11. Produkcja, eksport, import płyt wiórowych OSB w wybranych krajach (najwięksi producenci) w 2022-2023 r. (tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
USA	2022	13592	6198	160	19630	
	2023	12962	6198	132	19028	-5%
Chiny	2022	6940	322	136	7126	
	2023	11340	280	164	11456	63%
Kanada	2022	7270	78	5806	1542	
	2023	6820	78	5486	1412	-6%
Rosja	2022	1795	1	250	1546	
	2023	2058	2	193	1867	15%
Niemcy	2022	1164	679	526	1317	
	2023	1166	570	507	1229	0%
Rumunia	2022	1016	147	572	591	
	2023	1016	147	572	591	0%
Polska	2022	647	302	294	655	
	2023	753	219	289	683	16%

Wysoką produkcję płyt OSB w 2023 r. wykazała również Kanada. Wielkość produkcji płyt OSB, w 2023 r. spadła o 6% ok. 0,5 mln m³. Dane dotyczące importu zostały powtórzone. Eksport w tym czasie spadł o ok. 0,3 mln m³, pomimo to Kanada była nadal największym eksporterem OSB na świecie w 2023 r. (5,5 mln m³).

W 2023 r. w Rosji wielkość produkcji wzrosła, o 15%, czyli 0,25 mln m³ w stosunku do 2022 r. Import był na podobnym poziomie marginalny, eksport natomiast spadł o ok. 50 tys. m³, co spowodowało wzrost konsumpcji o ok. 0,3 mln m³.

W Niemczech w latach 2022-2023 wielkość produkcji utrzymała się na podobnym poziomie. Import spadł o ok. 0,1 mln m³, natomiast eksport ok. 20 tys. m³.

Dla Rumunii w 2023 r. powtórzono dane wielkości produkcji i handlu z 2022 r.

W przypadku Polski w 2023 r. wielkość produkcji wzrosła, o 16%, czyli ok. 0,1 mln m³. Jednocześnie w tym czasie spadł import o ok. 0,1 mln m³, a eksport utrzymywał się na podobnym poziomie, więc konsumpcja pozostała na podobnym poziomie.

Sklejki na świecie

W 2023 r. wielkość produkcji sklejki na świecie spadła o 2%, czyli o ok. 2 mln m³ w porównaniu do 2022 r. i wynosiła 109,3 mln m³, (w poprzednim opracowaniu dla roku 2022 wykazano wyższe wartości wielkości produkcji).

Wiodącym producentem sklejki wśród kontynentów jest Azja. W 2023 r. wielkość produkcji spadła, o 1%, czyli ok. 0,7 mln m³ w stosunku do 2022 r. Spadł również import o ok. 0,4 mln m³ oraz eksport o ok. 0,8 mln m³. Konsumpcja spadła ok. 0,3 mln m³.

Tabela 12. Produkcja, eksport, import skleiki na kontynentach w 2022-2023 r. (w tys. m³)

Kontynent	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Azja	2022	83725	11628	18294	77059	
	2023	83057	11222	17508	76771	-1%
Ameryka Północna	2022	10709	9025	1422	18312	
	2023	10386	7006	1184	16208	-3%
Europa	2022	8318	8014	6910	9422	
	2023	8221	6926	6021	9126	-1%
Ameryka Południowa	2022	6230	320	3573	2977	
	2023	5944	330	3183	3091	-5%
Afryka	2022	1493	1492	503	2482	
	2023	1502	1502	476	2528	1%
Oceania	2022	553	930	63	1420	
	2023	469	767	58	1178	-15%

Na drugim miejscu, co do wielkości produkcji skleiki znajduje się Ameryka Północna. W 2023 r. nastąpił spadek wielkości produkcji o 3% (ok. 0,3 mln m³). Import w tym czasie spadł znacząco o ok. 2 mln m³, eksport ok. 0,2 mln m³. Konsumpcja spadła o ok. 2,1 mln m³, co może świadczyć o przesyleniu rynku.

Na trzecim miejscu znajduje się Europa. W 2023 r. wielkość produkcji spadła o 1%, czyli o ok. 0,1 mln m³. W analizowanym okresie w Europie wystąpiła wyraźna stagnacja w handlu sklejką z innymi kontynentami. Spadł zarówno import (o ok. 1,1 mln m³) jak i eksport (o ok. 0,9 mln m³). Konsumpcja spadła ok. 0,3 mln m³.

W Ameryce Południowej w 2023 r. wielkość produkcji spadła o ok. 0,3 mln m³. Import utrzymał się na podobnym poziomie, a eksport spadł o ok. 0,4 mln m³. Konsumpcja wzrosła ok. 0,1 mln m³.

W 2023 r. w Afryce wielkość produkcji skleiki wzrosła nieznacznie o ok. 10 tys. m³ i wynosiła ok. 1,5 mln m³ (dane z BI 1-2/2024 za 2022 r. były zaniżone - 1,3 mln m³). Import utrzymał się na podobnym poziomie jego wielkość wynosiła również ok. 1,5 mln m³. Eksport spadł o ok. 25 tys. m³. Konsumpcja wzrosła o ok. 50 tys. m³.

W Oceanii w tym czasie wielkość produkcji spadła o 15% (ok. 0,1 mln m³). Import który był wyższy od wielkości produkcji spadł z 0,9 do 0,8 mln m³. Eksport nie zmienił się znacząco. Konsumpcja spadła ok. 0,2 mln m³.

Najwięksi producenci skleiki na świecie

Największym producentem skleiki na świecie oraz w Azji były Chiny. W 2023 r. wielkość produkcji spadła, o 1%, czyli ok. 0,5 mln m³ w stosunku do 2022 r. (dane z BI 1-2/2024 za 2022 r. były zaniżone - 54,3 mln m³). Import i eksport spadły o ok. 0,1 mln m³, w porównaniu do 2022 r. Chiny były największym eksporterem skleiki na świecie (10,8 mln m³).

Na drugim miejscu pod względem wielkości produkcji znajdowały się Indie. W 2023 r. nastąpił wzrost wielkości produkcji o 0,7 mln m³, czyli 6% w stosunku do poprzedniego roku.

Wzrost wielkości produkcji w Indiach może wynikać z powstawania nowych linii produkcyjnych oraz modernizacji starych. Import wzrósł w 2023 r. o ok. 0,1 mln m³, natomiast eksport spadł o ok. 0,1 mln m³ w stosunku do 2022 r. Konsumpcja wzrosła o ok. 0,9 mln m³, co oznacza zwiększony popyt na sklejkę w Indiach.

Tabela 13. Produkcja, eksport, import sklejek w wybranych krajach w 2022-2023 r. (w tys. m³)

Kraj	Rok	Produkcja	Import	Eksport	Konsumpcja	Dynamika
Chiny	2022	58358	951	10712	48597	
	2023	57847	1066	10819	48094	-1%
Indie	2022	11200	276	151	11325	
	2023	11900	369	38	12231	6%
USA	2022	9106	7798	768	16136	
	2023	8782	5857	584	14055	-4%
Indonezja	2022	4503	79	3487	1095	
	2023	4503	54	3028	1529	0%
Brazylia	2022	3690	13	2315	1388	
	2023	3512	13	2035	1490	-5%
Rosja	2022	3241	21	1962	1300	
	2023	3264	10	1476	1798	1%
Wietnam	2022	2880	341	1976	1245	
	2023	2700	334	1869	1165	-6%

Na trzecim miejscu znajdowały się USA. Tu wielkość produkcji w 2023 r., zgodnie z tendencją z poprzednich opracowań spadła, o 4%, czyli, ok. 0,4 mln m³ w porównaniu do 2022 r. W tym samym czasie spadł również import o ok. 1,9 mln m³, oraz eksport o ok. 0,4 mln m³. W związku z spadkiem wielkości produkcji i dużym spadkiem importu konsumpcja spadła aż ok. 2,1 mln m³.

W Indonezji w 2023 r. dane dotyczące wielkości produkcji zostały powtórzone z 2022 r. Import był niewielki i spadł jeszcze o ok. 30 tys. m³, eksport natomiast aż o ok. 0,45 mln m³. Konsumpcja wzrosła proporcjonalnie do spadku eksportu.

W Brazylii 2023 r. wielkość produkcji spadła, o 5%, czyli ok. 0,2 mln m³. Import był nadal marginalny, eksport spadł o ok. 0,3 mln m³, a konsumpcja o ok. 0,2 mln m³.

Wielkość produkcji sklejk w Rosji w 2023 r. nieznacznie spadła o ok. 10 tys. m³ w porównaniu do 2022 r. Import był marginalny, eksport zgodnie z wcześniejszymi tendencjami spadł o ok. 0,5 mln m³, a konsumpcja wzrosła o 0,4 mln m³. Spadek wielkości eksportu związany jest najprawdopodobniej z europejskim zakazem handlu płytami z Rosją.

Wielkość produkcji sklejk w Wietnamie spadła o ok. 0,2 mln m³ w stosunku do 2022 r., czyli 6% i wynosiła 2,7 mln m³ w 2023 r. Import w tym czasie utrzymał się na podobnym poziomie 0,3 mln m³, eksport, który był dość wysoki również spadł o ok. 0,3 mln m³.

Podsumowanie

Potęgą w produkcji płyt drewnopochodnych są Chiny. Produkują najwięcej na świecie płyt: MDF/HDF, HB, PB i sklejk. Wielkość produkcji poszczególnych rodzajów płyt jest tak

duża, że przekracza łączną wielkość produkcji największych sześciu producentów. W 2023 r., gdy w większości krajów następowały duże spadki wielkości produkcji w Chinach nie były one tak duże, a w przypadku PB i OSB nastąpił znaczny wzrost produkcji. Warto zwrócić uwagę, że pomimo spadku wielkości produkcji większości płyt (z wyjątkiem OSB gdzie nastąpił 16% wzrost), Polska nadal znajduje się w rankingu największych producentów. Dla płyt MDF/HDF zajmuje siódme miejsce, płyt oFB - drugie, PB - piąte, OSB - siódme. Jedynie nasz kraj nie zalicza się do największych światowych producentów płyt HB i sklejk.

Maria Ostrowska

KONFERENCJE, ZEBRANIA, WYDARZENIA

Szkolenie i konferencja dla służb techniczno-inżynierskich w Fojutowie

W dniach 3-4 kwietnia 2025 r., w Zajeździe Fojutowo odbyło się cykliczne szkolenie seminaryjne połączone z konferencją dla pracowników szczebla kierowniczego i technicznego zakładów branży drzewnej.

Organizowane spotkanie poświęcone było wybranym aspektom produkcji tworzyw drzewnych.

Zajęcia szkoleniowe prowadzone były przez referentów z:

- Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
- Narodowego Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku,
- Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu,
- Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie,
- Firmy Porta S.A.,
- Firmy Classen-Pol S.A.,
- Firmy Drzewa Tlenowe Sp. z o.o.

W trakcie dwudniowych zajęć poruszone zostały zagadnienia z zakresu:

- Spektroskopia dyspersji energii w badaniach dla drzewnictwa
- Wpływ wybranych czynników na skrawalność płyt wiórowych
- Efektywność energetyczna inteligentnej technologii produkcji customizowanych drewnianych ościeżnic technicznych PortaFRAME
- Inteligentne systemy zarządzania produkcją krótkich serii wyrobów o mocno zindywidualizowanych parametrach
- Innowacyjne metody badań powierzchni płytowych elementów meblowych
- Paulownia - drzewa tlenowe - alternatywa dostaw drewna dla przemysłu
- Projekt plantacji drzew tlenowych (PPDT) - model biznesowy
- Wybrane właściwości płyt wiórowych z surowców alternatywnych
- Materiały izolacyjne o zwiększonej odporności na ogień oraz właściwościach biobójczych używane w budownictwie
- Kleje odwracalne - mechanizmy i możliwości wykorzystania
- Innowacyjne technologie w procesie produkcji ościeżnic regulowanych
- Wpływ chłodzenia narzędzi frezarskich na ich trwałość podczas obróbki płyt wiórowych
- Rozwój budownictwa drewnianego w Polsce - mechanizmy wspierające i ograniczenia
- Wybrane właściwości użytkowe płyt wiórowych

Wygłaszane w trakcie szkolenia referaty zawsze cieszą się dużym zainteresowaniem uczestników oraz wywołują wśród nich ciekawe dyskusje, a także wymianę poglądów.

W szkoleniu uczestniczyło około 40 osób, a wykłady prowadziło 12 wykładowców.



Materiały ze szkolenia można nabyć w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Przemysłu Płyt Drewnopochodnych sp. z o.o. w Czarnej Wodzie w cenie 100 zł netto/egz.

Jednocześnie serdecznie zapraszamy do udziału w przyszłorocznym Szkoleniu, które jest planowane na przełomie kwietnia i maja 2026 r.

Grzegorz Czapiewski

