SCP/5829/2024
ID:17900300028153

Rada Doskonałości Naukowej
00-901 Warszawa, pl. Defilad 1
Dział Kancelaryjny
WPŁYNĘŁO (RPW)
13. 09. 2024
Znak sprawy:
Podpis
Zał.

ła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.
Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego, wybranego do przeprowadzenia postępowania)
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Paweł Czarniak
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW w Warszawie
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

RPW/8205/2024
Data:2024-09-13

Wniosek

z dnia 1.08.2024

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauki rolnicze** w dyscyplinie[1] **nauki leśne**

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Analiza współczesnych możliwości zwiększania odporności na zużycie narzędzi skrawających do drewna i materiałów drewnopochodnych za pomocą nanoszenia wybranych powłok PVD

Wnioskuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***[2]

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl , tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.

Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

---

[1] Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

[2] * Niepotrzebne skreślić.

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

- Wyróżnienie za pracę doktorską
- Certyfikat językowy TOEIC
- Nagroda zespołowa rektora SGGW III stopnia za osiągnięcia naukowe w 2014 roku
- Dyplom za udział w konferencji naukowej w Bułgarii w roku 2019
- Dyplom za udział w programie Erasmus Mundus w roku 2015
- Potwierdzenie o odbyciu szkolenia w ramach programu Erasmus+ na Uniwersytecie w Clermont-Ferrand w Francji w roku 2019
- Wniosek wyjazdowy zaakceptowany przez prorektora SGGW ds. współpracy międzynarodowej na wyjazd na Uniwersytet w Clermont-Ferrand w Francji jako profesor wizytujący w roku 2018
- Potwierdzenie uzyskania grantu w ramach programu Erasmus Mundus na pobyt na Uniwersytecie Urgench w Uzbekistanie w roku 2015
- Potwierdzenie uzyskania grantu na pobyt naukowy STSM w ramach COST ACTION 1006 w Portugalii w roku 2014
- Szkolenie nt. „Student w spektrum autyzmu" zaśw. 96/2023
- Szkolenie nt. „Obsługa studentów_ek z niepełnosprawnościami"
- Zaświadczenie o udziale w szkoleniu dla audytorów organizowanym przez UDT
- Certyfikat o odbyciu szkolenia d.t. łańcucha dostaw w systemie PEFC
- Świadectwo czeladnicze wydane przez cech rzemiosł drzewnych w Warszawie

Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy;

A1. **P. Czarniak**, K. Szymanowski, B. Kucharska, A. Krawczyńska, J. Sobiecki, J. Kubacki, P. Panjan (2020). Modification of tools for wood based materials machining with TiAlN/a-CN coating, Materials Science & Engineering B, 257, 114540 (IF: 3,400/Pkt. MNiSW: 100).

A2. B. Kucharska, **P. Czarniak**, K. Kulikowski, A. Krawczyńska, K. Rożniatowski, J. Kubacki, K. Szymanowski, P. Panjan, J.R. Sobiecki (2022). Comparison Study of PVD Coatings: TiN/AlTiN, TiN and TiAlSiN Used in Wood Machining, Materials, 15, 7159 (IF: 4,051/Pkt. MNiSW: 100).

A3. B. Kucharska, J.R. Sobiecki, **P. Czarniak**, K. Szymanowski, K. Cymerman, D. Moszczyńska, P. Panjan (2021). Influence of Different Types of Cemented Carbide Blades and Coating Thickness on Structure and Properties of TiN/AlTiN and TiAlN/a-C:N Coatings Deposited by PVD Techniques for Machining of Wood-Based Materials, Materials, 14, 2740 (IF: 3,748/Pkt. MNiSW: 140).

A4. **P. Czarniak**, K. Szymanowski, P. Panjan, J. Górski (2022). Initial Study of the Effect of Some PVD Coatings ("TiN/AlTiN" and "TiAlN/a-C:N") on the Wear Resistance of Wood Drilling Tools, Forests, 13, 286 (IF: 2,900/Pkt. MNiSW: 100).

A5. **P. Czarniak**, B. Kucharska, K. Szymanowski, C. Nouveau, P. Panjan, K. Kulikowski, A. Roguska, M. Gloeh, J. Sobiecki (2023). Coatings deposited by physical vapor deposition (PVD) on high-speed steel used in the processing of wood materials, Wood Material Science & Engineering, 1-10. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289023 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

A6. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Górski, D. Jarosiewicz (2023). Effect of the drag-finishing of cutting blades made of sintered carbides on tool life in particleboard machining, Wood Material Science & Engineering, 1-7. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289042 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

A7. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Bucki, D. Jarosiewicz (2023). Micro geometry analysis of WC-Co carbide blades modified with PVD coating subjected to blunting during milling in chipboard, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 398-407. DOI: 10.1080/17480272.2023.2251026 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

A8. P. Czarniak, K. Szymanowski, P. Panjan, D. Jarosiewicz (2023). Influence of WC-Co knifes pre-treatment with drag finishing method subjected to tool coatings deposition on blunting process, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 391-397. DOI: 10.1080/17480272.2023.2248471 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

Górski J., Wilkowski J., Czarniak P (2009). Introduction to automatic supervision of wood machining system. "Introduction to automatic supervision of wood machining system": Górski Jarosław, Zbieć Marcin (red.), Wood machining and processing – product quality and waste characteristics, WULS – SGGW Press, 5-26, 3 punkty.

Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (bez pozycji wymienionych w pkt I).

<u>Przed uzyskaniem stopnia doktora:</u>

1. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: Cutting resistance during drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 67, 2009, s. 41-44
2. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Novak Vit: Influence of tool geometry and kind of wood based materials on cutting force and machining quality during drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 68, 2009, s. 97-100
3. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Šrajer Jan: Influence of tool geometry on edge quality of holes during drilling in laminated MDF, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 68, 2009, s. 101-104
4. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: Quality in drilling of laminated chipboard, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 67, 2009, s. 45-48

5. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**: Statistical analysis of acoustic emission (AE) for tool condition monitoring (TCM) and quality control in drilling of wood-based materials, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 67, 2009, s. 275-278
6. Śmietańska Katarzyna, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**: Korrektirovka rabočej programmy obrabotki kak metod ulučšeniâ točnosti razmera vo vremâ frezerovaniâ syroj plity MDF, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 67, 2009, s. 176-179
7. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: Proposal of new direct indicator of drill wear, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 63, 2008, s. 153-155
8. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: The effect of tool wear on feed force in chipboard drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 63, 2008, s. 150-152
9. Górski Jarosław, Wilkowski Jacek, Szwajka Krzysztof, **Czarniak Paweł**: Podstawy automatycznej diagnostyki stanu narzędzia oraz procesu skrawania w obróbce drewna i tworzyw drzewnych, Przemysł Drzewny, Wydawnictwo Świat Sp. z o. o., nr 3, 2008, s. 53-55
10. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**: The usage of digital image processing methods for quality control of drilling in laminated chipboard, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 66, 2008, s. 235-238
11. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: The analysis of feed force signal running for laminated chipboard drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 61, 2007, s. 100-102
12. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: Tne relationships between tool wear and feed force signal during the drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 61, 2007, s. 96-99
13. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Szwajka Krzysztof: Evaluation of tool condition on the basis of acoustic emission and vibration signals, W: Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese =Trends of wood working, forest and environmental technology development and their applikations in manufacturing process.Lesná, mobilná a drevárska technika, vol. Sekcia č. 1, 2006, s. 280-285, 3 punkty
14. Szwajka Krzysztof, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: The industry measuring system of the acoustic emission and vibration signals in milling of wood based materials, W: Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese =Trends of wood working, forest and environmental technology

development and their applikations in manufacturing process.Lesná, mobilná a drevárska technika, vol. Sekcia č. 1, 2006, s. 379-383, 3 punkty

15. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Szwajka Krzysztof, Wilkowski Jacek: Przemysłowe tory pomiarowe sygnałów wibroakustycznych przy frezowaniu tworzyw drzewnych, Inżynieria Rolnicza, nr 12, 2006, s. 75-83
16. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: The basic problems in dynamic signal analysis for woodworking process monitoring, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 58, 2006, s. 128-131
17. **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: The relationships between machine tool vibration and tool wear, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 58, 2006, s. 132-135
18. Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**: Cutting sound analysis for wear monitoring, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 58, 2006, s. 333-336

Po uzyskaniu stopnia doktora:

1. **Czarniak Paweł**, Borysiuk Piotr, El Bayda Hadi, Périsse Frédéric, Menecier Sébastien: Analysis of technological effects of cold plasma treatment of wood based materials finished with finishing foil and paints, International Journal of Adhesion and Adhesives, vol. 118, 2022, Numer artykułu: 103248, s. 1-6, DOI:10.1016/j.ijadhadh.2022.103248, 100 punktów, IF(3,4)
2. Jegorowa Albina, Kurek Jarosław, Antoniuk Izabella, Dołowa Wioleta, Bukowski Michał, **Czarniak Paweł**: Deep learning methods for drill wear classification based on images of holes drilled in melamine faced chipboard, Wood Science and Technology, Springer, vol. 55, nr 1, 2021, s. 271-293, DOI:10.1007/s00226-020-01245-7, 200 punktów, IF(2,898)
3. **Czarniak Paweł**, Szymanowski Karol, Panjan Peter: Characteristic of the wear of a tool coating based on amorphous carbon during chipboard milling, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 111, 2020, s. 53-59, DOI:10.5604/01.3001.0014.6652, 40 punktów
4. **Czarniak Paweł**, Szymanowski Karol, Panjan Peter: Influence of the microstructure of tool coatings based on Ti and Al on the blunting process during chipboard

processing, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 112, 2020, s. 54-59, DOI:10.5604/01.3001.0014.7356, 40 punktów

5. Jegorowa Albina, Antoniuk Izabella, Kurek Jarosław, Bukowski Michał, Wioleta Dołowa, **Czarniak Paweł**: Time-efficient Approach to Drill Condition Monitoring Based on Images of Holes Drilled in Melamine Faced Chipboard, Bioresources, vol. 15, nr 4, 2020, s. 9611-9624, DOI:10.15376/biores.15.4.9611-9624, 100 punktów, IF(1,614)
6. Barlak Marek, Wilkowski Jacek, Szymanowski Karol, **Czarniak Paweł**, Podziewski Piotr, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy, Staszkiewicz Bogdan: Influence of the ion implantation of nitrogen and selected metals on the lifetime of WC-Co indexable knives during MDF machining, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 108, 2019, s. 45-52, DOI:10.5604/01.3001.0013.7680, 40 punktów
7. **Czarniak Paweł**, Szymanowski Karol, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Dagrain Fabrice: Machinability characterization of solid wood with scratching and drilling techniques, Wood Research, vol. 64, nr 4, 2019, s. 719-730, 70 punktów, IF(0,688)
8. Górski Jarosław, Szymanowski Karol, Podziewski Piotr, Śmietańska Katarzyna, **Czarniak Paweł**, Cyrankowski Mariusz: Use of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling, Bioresources, vol. 14, nr 2, 2019, s. 3379-3388, 100 punktów, IF(1,409)
9. Kowaluk Grzegorz, Szymanowski Karol, Kozłowski Piotr, Kukuła Wojciech, Sala Conrad, Robles Eduardo, **Czarniak Paweł**: Functional assessment of particleboards made of apple and plum orchard pruning, Waste and Biomass Valorization, 2019, s. 1-10, DOI:10.1007/s12649-018-00568-8, 70 punktów, IF(2,851)
10. Wachowicz Joanna, Wilkowski Jacek, Wierzbicka Klaudia, **Czarniak Paweł**: The influence of WC grain size on the durability of WCCo cutting edges in the machining of wood-based materials, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 107, 2019, s. 65-71, DOI:10.5604/01.3001.0013.7644, 40 punktów
11. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy, **Czarniak Paweł**, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Technical note: lifetime improvement and the cutting forces in nitrogen-implanted drills during wood-based material machining,

Wood and Fiber Science, vol. 51, nr 2, 2019, s. 1-12, DOI:10.22382/wfs-2019-021, 70 punktów, IF(1,104)

12. Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**: Relative machinability of wood-based boards in the case of drilling - experimental study, Bioresources, vol. 13, nr 1, 2018, s. 1761-1772, DOI:10.15376/biores.13.1.1761-1772, 40 punktów, IF(1,396)
13. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, Wachowicz Joanna, **Czarniak Paweł**: Taguchi analysis of WC-Co tools life in milling of wood-based materials, Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, vol. 11, nr 1, 2018, s. 205-210, 1 punkt
14. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, **Czarniak Paweł**, Wachowicz Joanna: The effect of the WC-Co properties on the tool wear during particleboards milling, Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, vol. 11, nr 1, 2018, s. 211-216, 1 punkt
15. Kozłowski Piotr, Kukuła Wojciech, Szymanowski Karol, Kowaluk Grzegorz, **Czarniak Paweł**, Auriga Radosław, Kwaśny Łukasz: Drilling features of particleboard made of selected fruit trees prunings, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 98, 2017, s. 53-58, 10 punktów
16. Kołodziejczak Paweł, Wilkowski Jacek, Barlak Marek, **Czarniak Paweł**, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy: Modification of the surfaces of wood cutting tools using CO2 laser-SEM analysis, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 98, 2017, s. 48-52, 10 punktów
17. Perisse Frederic, Menecier Sebastien, Duffour Emmanuel, Vacher Damien, Monier Guillaume, Destrebecq Pierre-Joseph, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek: MDF treatment with a Dielectric Barrier Discharge (DBD) torch, International Journal of Adhesion and Adhesives, vol. 79, 2017, s. 18-22, DOI:10.1016/j.ijadhadh.2017.09.006, 35 punktów, IF(2,065)
18. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, Szymanowski Karol, Cyrankowski Mariusz, **Czarniak Paweł**: Compreg - machinability during drilling, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 97, 2017, s. 140-143, 10 punktów

19. Rogozinski Tomasz, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Szymanowski Karol, Podziewski Piotr, **Czarniak Paweł**: Fine particles content in dust created in CNC milling of selected wood composites, Wood and Fiber Science, vol. 49, nr 4, 2017, s. 461-469, 30 punktów, IF(0,786)
20. Szymanowski Karol, Mizerski Dominik, Podziewski Piotr, Górski Jarosław, Cyrankowski Mariusz, **Czarniak Paweł**: Influence of direction of cutting on cutting forces and quality during milling laminated MDF, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 97, 2017, s. 69-72, 10 punktów
21. Wilkowski Jacek, Kołodziejczak Paweł, Barlak Marek, **Czarniak Paweł**, Werner Zbigniew, Staszkiewicz Bogdan: Effect of laser modification of WC-Co tool-life during particleboards milling, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 98, 2017, s. 148-152, 10 punktów
22. Jegorowa Albina, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**: Predvaritel'naâ selekciâ vybrannyh harakteristik diagnostičeskih signalov zaregestrirovannyh vo vremâ sverleniâ v drevesnostružečnoj laminirovannoj plite osnovannaâ na analize ih monotonnosti, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 95, 2016, s. 7-11, 10 punktów
23. Magrupov Farkhod, Alimov Iskandar, Turabdjanov Sadritdin, **Czarniak Paweł**, Grzybowski Piotr, Szydłowska Jadwiga: Wood-polymeric materials on the basis of polyolefins Cz. 1 Research of thermal-oxidative degradation of polyolefines by the method of the electron paramagnetic resonance spectroscopy, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 94, 2016, s. 39-45, 10 punktów
24. Magrupov Farkhod, Alimov Iskandar, Turabdjanov Sadritdin, Borysiuk Piotr, **Czarniak Paweł**, Krajewski Krzysztof: Wood-polymeric materials on the basis of polyolefins Cz. 2 Thermal-oxidative degradation and chemical reactions in the mixture of wood with polyolefins, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 94, 2016, s. 46-52, 10 punktów
25. Magrupov Farkhod, Alimov Iskandar, Turabdjanov Sadritdin, Borysiuk Piotr, **Czarniak Paweł**, Monder Sławomir, Auriga Radosław: Wood-polymeric materials on

the basis of polyolefins Cz. 4 Investigation of formation conditions of chemical bonds between wood and secondary polyolefins, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 94, 2016, s. 60-66, 10 punktów

26. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Borysiuk Piotr, Martins Jorge, Henriques Ana, Magalhães Fernão, Carvalho Luísa: Impact of different wood based materials treatments on surface quality assessed by contact angle and NIR spectroscopy, W: Advances in modified and functional bio-based surfaces :proceedings : COST Action FP1006 : Bringing new functions to wood through surface modification : 8-9 April, 2015, Thessaloniki, Greece., 2015, Aristotle University, s. 9-11
27. **Czarniak Paweł**, Alimov Iskandar, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Borysiuk Piotr, Szymanowski Karol, Podziewski Piotr, Magrupov Farkhod: Relative machinability indicators of wood plastic composites (WPC) based on recycled material, W: Wood - Science - Economy :1st International Scientific Conference : 5-6 October 2015, Poznań, Poland : proceedings [abstrakty]., 2015, The State Forest Information Centre, s. 69
28. Jegorowa Albina, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Geometriâ iznosa sverla vo vremiâ obrabotki drevesno-stružečnyh laminirovannyh plit, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 89, 2015, s. 66-69, 10 punktów
29. Jegorowa Albina, Górski Jarosław, Morek Radosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, **Czarniak Paweł**: Značenie vibroakustičeskih signalov takih kak vibraciâ i šum v diagnostike iznosa instrumenta vo vremiâ sverleniâ v drevesnostružečnoj laminirovannoj plite, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 92, 2015, s. 141-145, 10 punktów
30. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, Morek Radosław, Szymanowski Karol, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek: Effect of feed rate on cutting forces during drilling raw particleboard, laminated particleboard, MFP and OSB, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 90, 2015, s. 146-149, 10 punktów

31. Rogoziński Tomasz, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Dust creation in CNC drilling of wood composites, Bioresources, vol. 10, nr 2, 2015, s. 3657-3665, 40 punktów, IF(1,334)
32. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr, Cyrankowski Mariusz, Morek Radosław: Machinability index of certain types of chipboards, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 90, 2015, s. 198-201, 10 punktów
33. Wilkowski Jacek, Bołtralik Kamil, Borysiuk Piotr, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Rousek Miroslav, Ružinská Eva, Szymanowski Karol: Drilling accuracy of long elements from MDF on CNC machining centers, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 90, 2015, s. 211-215, 10 punktów
34. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Jabłoński Marek, Pacek Paweł, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, Szymona Karolina: Influence of cutting parameters on surface roughness of MDF board after milling and sanding, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 92, 2015, s. 473-476, 10 punktów
35. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, Jabłoński Marek, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, Kordzikowski Marcin: Comparison of boards machinability manufactured from waste raw materials origins from agriculture industry with standard wood-based materials, W: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2014 :IX. Medzinárodná vedecká konferencia : zbornik prednášok : 11-13 September 2014, Zvolen = Chip and chipless woodworking processes 2014 : the 9th International science conference : proceedings of paper : September 11-13, 2014, Technical University in Zvolen / eds.: Ladislav Dzurenda, Adrián Banski. / Dzurenda Ladislav, Banski Adrián (red.), Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, 2014, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978-80-228-2658-7, s. 175-179
36. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Jabłoński Marek, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Taguchi method optimization of the total power consumption during chipboard cutting with the panel saw machine, W: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2014 :IX. Medzinárodná vedecká konferencia : zbornik prednášok : 11-13 September 2014, Zvolen = Chip and chipless woodworking

processes 2014 : the 9th International science conference : proceedings of paper : September 11-13, 2014, Technical University in Zvolen / eds.: Ladislav Dzurenda, Adrián Banski. / Dzurenda Ladislav, Banski Adrián (red.), Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, 2014, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978-80-228-2658-7, s. 171-174

37. Cyrankowski Mariusz, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, **Czarniak Paweł**, Chludzińska Dagmara: The analysis of the energy demand for heating and cooling of the house built on the basis of the traditional masonry method, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 85, 2014, s. 40-44, 10 punktów
38. **Czarniak Paweł**, Auriga Radosław, Wilkowski Jacek, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Machinability of three layer MDF boards made of wood fibres with different dimensions, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 86, 2014, s. 50-55, 10 punktów
39. Jegorowa Albina, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Szymanowski Karol: Predvaritel'nye issledovaniâ kasaûŝiesâ kosvennogo monitoringa stepeni iznosa instrumenta vo vremâ skvoznogo sverleniâ v drevesno - stružečnoj plite, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 85, 2014, s. 106-111, 10 punktów
40. Mitas Piotr, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Podziewski Piotr: Unique problems of a structure-light 3D scanner during scanning of various wood species, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 88, 2014, s. 147-150, 10 punktów
41. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Szymanowski Karol, Cyrankowski Mariusz: MDF - machinability during drilling, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 87, 2014, s. 167-171, 10 punktów
42. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Szymanowski Karol: Raw particleboard machinability experimental text - cutting quality and cutting forces observed during drilling process, Annals of Warsaw University of Life Sciences

- SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 85, 2014, s. 191-195, 10 punktów

43. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr: Tool life observed during milling as the indicator of MDF machinability, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 88, 2014, s. 261-264, 10 punktów
44. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**: Cięcie materiałów drzewnych piłami tarczowymi - materiały narzędziowe, kryteria doboru pił, trwałość pił, jakość obróbki i energochłonność procesu piłowania, Biuletyn Informacyjny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie, nr 3/4, 2014, s. 99-116
45. Wilkowski Jacek, Michałowski Piotr, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Influence of spruce, wenge and obeche wood used for electric guitar prototype onselected sound properties, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 85, 2014, s. 235-240, 10 punktów
46. Wilkowski Jacek, Kozub Wojciech, Borysiuk Piotr, Rousek Miroslav, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol: Machinability of particleboards bonded with SBR gum granulate, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 85, 2014, s. 230-234, 10 punktów
47. Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, **Czarniak Paweł**, Rogoziński Tomasz: Skrawalność płyt drewnopochodnych - kryteria, wskaźniki i metody oceny, W: Wybrane aspekty produkcji tworzyw drzewnych :szkolenie : Fojutowo, 24-25 październik 2013., 2013
48. Cyrankowski Mariusz, Osipiuk Jan, **Czarniak Paweł**, Spychaj Łukasz: Historic feature of wood fire protection, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 82, 2013, s. 140-144, 10 punktów
49. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław: Influence of sawing direction on edges quality in oriented wood-based materials, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 82, 2013, s. 155-159, 10 punktów

50. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Cyrankowski Mariusz: Quality machinability indicators of wood-based materials after sawing, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 81, 2013, s. 37-41, 10 punktów
51. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek: Raw HDF machinability experimental test - quality of drilling process, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 81, 2013, s. 175-179, 10 punktów
52. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek: Laminated HDF machinability experimental test - quality of milling process, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 81, 2013, s. 259-263, 10 punktów
53. Wilkowski Jacek, Trzaska Adam, **Czarniak Paweł**, Osipiuk Jan, Cyrankowski Mariusz: Accuracy of automatic vision methods of tool wear assessment after chipboards milling, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 81, 2013, s. 299-303, 10 punktów
54. Wilkowski Jacek, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, Czarniak Paweł: Analysis of relative machinability indexes of wood particle boards bonded with waste thermoplastics, Drewno, vol. 56, nr 190, 2013, s. 139-144, 15 punktów, IF(0,171)
55. Wilkowski Jacek, Rousek Miroslav, Svoboda Emil, Kopecký Zdenék, **Czarniak Paweł**: Analysis of the influence of cutting parameters on surface roughness of milled wood based on Taguchi techniques, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 84, 2013, s. 321-325, 10 punktów
56. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Osipiuk Jan: Evaluation of wood-based materials machinability with short-time method during sawing, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, nr 81, 2013, s. 293-298, 10 punktów
57. Śmietańska Katarzyna, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**: Analysis of dimensional accuracy of MDF milling process, Wood Research, vol. 58, nr 3, 2013, s. 451-464, 20 punktów, IF(0,281)
58. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, Czarniak Paweł: Short-time method of machinability rating of wood-based materials during milling, W: Chip and chipless

woodworking processes 2012 :the 8th International Science Conference : proceedings of papers : September 6–8, 2012 Technical University in Zvolen / Dzurenda Ladislav, Banski Adrián (red.), 2012, Technická univerzita vo Zvolene, s. 365-370, 4 punkty

59. Wilkowski Jacek, Gozdecki Cezary, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław: Effect of the wood particle size on cutting forces during drilling of wood-plastic composites, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 80, 2012, s. 192-195
60. Wilkowski Jacek, Walewski Mateusz, Mazurek Andrzej, **Czarniak Paweł**, Kopecky Zdenek: Influence of physical and mechanical wood properties on cutting forces during drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 80, 2012, s. 196-199
61. Wilkowski Jacek, Grześkiewicz Marek, Kargul Dorota, **Czarniak Paweł**, Wójcik Aleksandra: Influence of wood thermal modification on surface roughness after turning, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 80, 2012, s. 200-203
62. Wilkowski Jacek, Borysiuk Piotr, **Czarniak Paweł**, Rousek Miroslav: Taguchi analysis of cutting power and thrust force in drilling of polyethylene bonded particleboards, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 80, 2012, s. 187-191
63. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Górski Jarosław, Boruszewski Piotr, Borysiuk Piotr: Analysis of selected machinability indicators of hardboard and novel wood-fiber material with lignins as binder, W: Proceedings of the 4th International Science Conference Woodworking Techniques :September 7. - 10. 2011, Prague, Czech Republic., 2011, s. 370-378, 4 punkty
64. Wilkowski Jacek, **Czarniak Paweł**, Grześkiewicz Marek: Machinability evaluation of thermally modified wood using the Taguchi technique, W: Mechano-chemical transformations of wood during Thermo-Hydro-Mechanical processing :COST Action FP0904 Thermo-Hydro-Mechanical wood behaviour and processing : February 16-18, 2011 Biel, Switzerland. / Navi Parviz, Roth Andreas (red.), 2011, s. 109-111, 4 punkty
65. Wilkowski Jacek, Grześkiewicz Marek, **Czarniak Paweł**, Wojtoń Michał: Cutting forces during drilling of thermally modified ash wood, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 76, 2011, s. 199-202
66. Wilkowski Jacek, Grześkiewicz Marek, Czarniak Paweł, Siwek Ireneusz, Javorek Lubomir, Pauliny Dusan: Influence of thermal modification of oak wood on cutting forces during milling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 76, 2011, s. 203-207

67. Wilkowski Jacek, Grześkiewicz Marek, **Czarniak Paweł**, Kleczkowski Piotr: Surface roughness after sanding of thermally modified oak wood, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 76, 2011, s. 208-211
68. **Czarniak Paweł**, Wilkowski Jacek, Mazurek Andrzej: Influence of tool wear and cutting force on machining quality during milling of laminated particleboard, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 71, 2010, s. 87-91
69. Wilkowski Jacek, Żerebiec Bartłomiej, **Czarniak Paweł**: Analysis of surface roughness in wood milling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 72, 2010, s. 474-479
70. Wilkowski Jacek, Zieliński Janusz, **Czarniak Paweł**: Analysis of tool life criterion during laminated chipboard milling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 72, 2010, s. 468-473
71. Wilkowski Jacek, Dubis Michał, **Czarniak Paweł**: Influence of cutting speed on tool life during of laminated particleboard drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 72, 2010, s. 463-467
72. Wilkowski Jacek, Grześkiewicz Marek, **Czarniak Paweł**, Litwa Michał: Influence of wood thermal modification on cutting resistance during drilling, Annals of WULS, Forestry and Wood Technology, nr 72, 2010, s. 480-484

Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.

- Konferencja naukowa z cyklu: Drewno – materiał XX! wieku „Generacja 4.0 w przemyśle drzewnym i meblarskim" SGGW, 2023.
- Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, 2018.
- Wood – Science – Economy :1st International Scientific Conference: 5-6 October 2015, Poznań.
- Advances in modified and functional bio-based surfaces: proceedings: COST Action FP1006: Bringing new functions to wood through surface modification: 8-9 April, 2015, Thessaloniki, Greece, 2015, Aristotle University.

- Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2014: IX. Medzinárodná vedecká konferencia: zbornik prednášok: 11-13 September 2014, Zvolen = Chip and chipless woodworking processes 2014: the 9th International science conference.
- Chip and chipless woodworking processes 2012: the 8th International Science Conference: proceedings of papers: September 6-8, 2012. Technical University in Zvolen.
- 4th International Science Conference Woodworking Techniques: September 7-10.2011, Prague, Czech Republic, 2011.

Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.

Uczestniczyłem także jako wykonawca w następujących grantach:

- Grant własny Komitetu Badań Naukowych (KBN) Nr 3 P06L 02524: Podstawy automatycznej diagnostyki stanu narzędzia i procesu skrawania drewna i materiałów drewnopochodnych (2003-2006).
- Grant własny Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N309 007537: Skrawalność materiałów drewnopochodnych (2009-2013).
- Grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: Influence of nitrogen ions implementation on WC-Co composites used in wood based materials machining – W83/HZDR/2017.

Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.

Pobyty szkoleniowe w ramach projektów COST ACTION obejmowały następująca tematykę:

- **FP1006**, Grecja „Advances in modified and functional bio-based surfaces" (07.04.2015),
- **FP1101**, Francja „Monitoring of Timber Structures" (23.06.2014),
- **FP1006**, Portugalia „Surface modified laminates" (05.03.2014),
- **FP0904**, Francja „Numerical Implementation of Thermo-Hydro-Mechanical Behavior" (10.02.2014),

- **FP1101**, Belgia „Assessment and reinforcement of timber" (09.12.2013),
- **FP1101**, Grecja „Assessment of historical timber structures, analysis of restoration works: on field experience" (01.10.2013).
- **FP0904**, Francja „Green wood properties modification induced by medium temperatures heat treatment" (29.03.2012).
- **FP0904**, Szwajcaria „THM treatments, practical and theory" (13.02.2011).

Badania naukowe prowadziłem w następujących ośrodkach:

- Miesięczny pobyt (11/12.2014) w ramach ***STSM COST ACTION 1006*** **(Bringing new functions to wood through surface modification)** w Porto w Portugalii w centrum wdrożeniowym ***Lepabe*** (Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy). Badania przeprowadzone pod kierunkiem prof. Luisa Carvalho i prof. Fernao Magalhaes dotyczyły wpływu obróbki termicznej na zwilżalność różnych gatunków drewna.
- Miesięczny pobyt jako gość we Francji na zaproszenie Instytutu Blaise Pascal w Clermont-Ferrand (10.2018). Wstępne badania dotyczące technik plazmowych.
- Dwutygodniowy pobyt szkoleniowy w ramach program Erasmus+ Staff training dotyczący zastosowania plazmy w modyfikacji materiałów lignocelulozowych w Instytucie Blaise Pascal w Clermont-Ferrand, Francja (07.2019).

Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

- Dvoracek O., Lechowicz D., Haas F., Frybort S. (2021). Cutting force analysis of oak for the development of a cutting force model. Wood Materials Science and Engineering. 17(3), 1-12 DOI: 10.1080/17480272.2021.1955296
- Chunmei Yang., Yaqiang Ma, Tongbin Liu., Yucheng Ding., Wenlong Song (2022). Numerical simulation of Hypermesch/Ls-Dyna during sawing of wood and experimental study of surface quality after sawing. Forests.
- Adamcik L., Dzurenda L., Banski A., Kminiak R. (2023). omparison of Surface Roughness of Beech Wood after Sanding with an Eccentric and Belt Sander. Forests, 15(1), 45 DOI: 10.3390/f15010045

Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.

Wyjazdy w ramach programu CEEPUS „**Non Traditional processes in production Technologies and integration of the study and research in the eastern and central Europe Universities**":

- Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology (04.2009),
- Technical University in Zvolen, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology (10.2009), CII-SK-0310-02-910,
- "Transilvania" University of Brasov (11.2009), CII-SK-0310-02-910-M-31731.

Miesięczny pobyt w ramach Erasmus Mundus na Uniwersytecie Urgench w Uzbekistanie (09/10.2015). Ponadto wielokrotne wyjazdy z **programu Erasmus+** do większości ośrodków naukowych, z którymi Wydział Technologii Drewna ma podpisane porozumienia (Słowacja, Republika Czeska, Rumunia, Turcja, Francja, Niemcy):

- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (10.2023),
- Kastamonu University – Turcja (11.2022),
- Artvin Çoruh University – Turcja (05.2022),
- Mendel University in Brno – Czechy (04.2022),
- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (11.2021),
- Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo – Niemcy (12.2019),
- Artvin Çoruh University – Turcja (11.2019),
- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (05.2019),
- École supérieure du bois- Nantes – Francja (04.2018),
- Latvia University of Agriculture – Jelgava – Łotwa (09.2017),
- Bartın University – Turcja (06.2017
- Brasov University – Rumunia (09.2016).

III. WSPÓŁPRA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

Współpraca z sektorem gospodarczym.

Prace badawcze wspomogły jednostki działające w przemyśle, takie jak Fabryka narzędzi FABA SA w Baboszewie, która udostępniła urządzenia do modyfikacji narzędzi skrawających przed nałożeniem powłok (drag finishing) oraz specjalistyczną aparaturę pomiarową pozwalającą na precyzyjne określenie mikrogeometrii ostrza

Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych.

Udział jako ekspert w 50 Przeglądzie Dorobku Studenckich Kół Naukowych SGGW w roku 2023

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

1. ***Impact Factor***

Sumaryczny IF - 42,896

Sumaryczny SNIP - 22,956

Sumaryczna punktacja ministerialna - 2 273

2. ***Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.***

liczba cytowań łącznie w/g Scopus = 203 (bez autocytowań – 183)

liczba cytowań łącznie w/g WoS = 185 (bez autocytowan – 166)

3. ***Indeks Hirscha.***

h-index (Cytowania Scopus) -10

h-index (Cytowania WoS) - 10

.....

(podpis wnioskodawcy)

Autoreferat

Dr inż. Paweł Czarniak

INSTYTUT NAUK DRZEWNYCH I MEBLARSTWA - SGGW
Warszawa 2024

1 DANE OSOBOWE 3
2 POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE 3
3 INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH 3
4 OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (Dz.U. z 2021 R. poz. 478 Z PÓŹN. ZM.) 4
4.1 TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO 4
4.2 WYKAZ PRAC TWORZĄCYCH CYKL PUBLIKACJI POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE 4
4.3 AKTUALNOŚĆ PODJĘTEJ TEMATYKI BADAWCZEJ 8
4.4 CEL NAUKOWY 13
4.5 OMÓWIENIE OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW 13
4.6 PODSUMOWANIE 30
4.7 PERSPEKTYWY BADAWCZE 32
5 INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ NA WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY 36
6 OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH TZN. INNYCH NIŻ TE, KTÓRE WSKAZANO JAKO ZWIĄZANE Z OSIĄGNIĘCIEM NAUKOWYM STANOWIĄCYM PODSTAWĘ UBIEGANIA SIĘ O STOPIEŃ DOKTORA HABILITOWANEGO 39
6.1 Badania skrawalności materiałów drzewnych 40
6.2 Zastosowaniu technik plazmowych do modyfikacji powierzchni materiałów lignocelulozowych 44
6.3 Diagnostyka procesu skrawania materiałów drzewnych 45
6.4 Trwałość narzędzi skrawających przeznaczonych do obróbki materiałów drzewnych 47
7 INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH I POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ 49

1 DANE OSOBOWE

Paweł Czarniak

2 POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

Uzyskany stopień: magister inżynier
Wydział Technologii Drewna SGGW w Warszawie
Kierunek: Mechaniczna Obróbka Drewna
Temat pracy magisterskiej: „Projekt mebli do wyposażenia pokoi mieszkalnych w domach studenckich SGGW w Warszawie
Promotor: prof. dr hab. Aleksander Korzeniowski
dr inż. Irena Swaczyna
Data obrony:09.07.1987

Uzyskany stopień: doktor
Wydział Technologii Drewna SGGW w Warszawie
Dyscyplina naukowa: nauki leśne
Temat pracy doktorskiej: „Monitorowanie stopnia zużycia narzędzia podczas wiercenia w płycie wiórowej laminowanej"
Promotor zewnętrzny: prof. dr hab. Arnold Wilczyński
Promotor wewnętrzny: prof. dr hab. Bogusław Bajkowski
Data obrony: 16.02.2010
Praca wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Technologii Drewna

3 INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Miejsce zatrudnienia:
Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW
Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 159

Historia zatrudnienia:
Od 01.07.2022 – adiunkt naukowo-dydaktyczny (pełny etat), Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW (Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna)
01.07.2022-16.02.2010 – asystent naukowo-dydaktyczny (pełny etat), Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW (Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna)
1.12.2004-31.06.2010 – st. specjalista (pełny etat), Wydział Technologii Drewna SGGW (Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna)
01.02.2005-30.09.2009 – doktorant, SGGW w Warszawie (Wydział Technologii Drewna)

4 OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (Dz.U. z 2021 R. poz. 478 Z PÓŹN. ZM.)

4.1 TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Moim osiągnięciem naukowym stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej **nauki leśne (w zakresie drzewnictwa)**, określonym w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, jest cykl publikacji powiązanych tematycznie pt.:

Analiza współczesnych możliwości zwiększania odporności na zużycie narzędzi skrawających do drewna i materiałów drewnopochodnych za pomocą nanoszenia wybranych powłok PVD

4.2 WYKAZ PRAC TWORZĄCYCH CYKL PUBLIKACJI POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE

A1. **P. Czarniak**, K. Szymanowski, B. Kucharska, A. Krawczyńska, J. Sobiecki, J. Kubacki, P. Panjan (2020). Modification of tools for wood based materials machining with TiAlN/a-CN coating, Materials Science & Engineering B, 257, 114540 **(IF: 3,400/Pkt. MNiSW: 100).**

Jako pomysłodawca, inicjator i autor koncepcji badań określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem szeroko zakrojone studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych (krajowych i zagranicznych). W zespole tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizy uzyskanych wyników i opracowałem niezbędne wykresy. Następnie stworzyłem zarówno wstępną, jak i końcową wersję manuskryptu. Będąc pierwszym i jednocześnie korespondencyjnym autorem, na bieżąco, na podstawie uwag recenzentów, wprowadzałem konieczne poprawki. Mój ogólny udział szacuję na 60%.

A2. B. Kucharska, **P. Czarniak**, K. Kulikowski, A. Krawczyńska, K. Rożniatowski, J. Kubacki, K. Szymanowski, P. Panjan, J.R. Sobiecki (2022). Comparison Study of PVD Coatings: TiN/AlTiN, TiN and TiAlSiN Used in Wood Machining, Materials, 15, 7159 **(IF: 4,051/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań. Na podstawie wykonanego przeze mnie szczegółowego studium literaturowego określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy. Aby zrealizować zaplanowane na tej podstawie badania, zaprosiłem do współpracy różne jednostki naukowe (krajowe i zagraniczne), tworząc kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy. W ramach działalności tego zespołu pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań, obejmującą m.in. selekcję i wybór analizowanych powłok narzędziowych. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę uzyskanych wyników i opracowałem niezbędne wykresy. Następnie przygotowałem wstępną wersję manuskryptu. Wraz z autorem korespondencyjnym, na podstawie uwag recenzentów, wprowadzałem do wersji końcowej manuskryptu konieczne poprawki. Mój ogólny udział szacuję na 60%.

A3. B. Kucharska, J.R. Sobiecki, **P. Czarniak**, K. Szymanowski, K. Cymerman, D. Moszczyńska, P. Panjan (2021). Influence of Different Types of Cemented Carbide Blades and Coating Thickness on Structure and Properties of TiN/AlTiN and TiAlN/a-C:N Coatings Deposited by PVD Techniques for Machining of Wood-Based Materials, Materials, 14, 2740 **(IF: 3,748/Pkt. MNiSW: 140).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań. Na podstawie wykonanej przeze mnie szczegółowej analizy literatury naukowej dotyczącej tego zagadnienia, określiłem szczegółowy zakres i cel naukowy badań oraz zaproponowałem współpracę różnym jednostkom naukowym (krajowym i zagranicznym) – utworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy. W ramach pracy tego zespołu pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań obejmującą m.in. selekcję i wybór poddawanych testom powłok narzędziowych. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę uzyskanych wyników i opracowałem niezbędne wykresy. Następnie przygotowałem wstępną wersję manuskryptu. Wraz z autorem korespondencyjnym, na podstawie uwag recenzentów, wprowadzałem do wersji końcowej manuskryptu konieczne poprawki. Mój ogólny udział szacuję na 60%.

A4. **P. Czarniak**, K. Szymanowski, P. Panjan, J. Górski (2022). Initial Study of the Effect of Some PVD Coatings ("TiN/AlTiN" and "TiAlN/a-C:N") on the Wear Resistance of Wood Drilling Tools, Forests, 13, 286 **(IF: 2,900/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań oraz określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem szeroko zakrojone studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych (krajowych i zagranicznych). W zespole

tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę wszystkich uzyskanych wyników i opracowałem niezbędne wykresy. Następnie stworzyłem zarówno wstępną, jak i końcową wersję manuskryptu. Podczas procesu recenzowania ściśle współpracowałem z autorem korespondencyjnym i na podstawie uwag recenzentów wprowadzałem konieczne poprawki. Mój ogólny udział szacuję na 85%.

A5. P. Czarniak, B. Kucharska, K. Szymanowski, C. Nouveau, P. Panjan, K. Kulikowski, A. Roguska, M. Gloeh, J. Sobiecki (2023). Coatings deposited by physical vapor deposition (PVD) on high-speed steel used in the processing of wood materials, Wood Material Science & Engineering, 1-10. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289023 **(IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań oraz określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem obszerne studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych (krajowych i zagranicznych). W zespole tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę uzyskanych wyników i opracowałem niezbędne wykresy. Następnie stworzyłem zarówno wstępną, jak i końcową wersję manuskryptu. Będąc pierwszym i jednocześnie korespondencyjnym autorem, na bieżąco, na podstawie uwag recenzentów, wprowadzałem konieczne poprawki. Mój ogólny udział szacuję na 60%.

A6. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Górski, D. Jarosiewicz (2023). Effect of the drag-finishing of cutting blades made of sintered carbides on tool life in particleboard machining, Wood Material Science & Engineering, 1-7. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289042 **(IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań oraz określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem obszerne studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych. W zespole tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Zleciłem i nadzorowałem przeprowadzenie modyfikacji narzędzi w przemyśle. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę wszystkich uzyskanych wyników i przygotowałem niezbędne wykresy. Jako pierwszy i jednocześnie korespondencyjny autor przygotowałem wstępne oraz

finalne wersje abstraktu, na bieżąco wprowadzając poprawki wynikające z uwag recenzentów. Mój ogólny udział szacuję na 85%.

A7. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Bucki, D. Jarosiewicz (2023). Micro geometry analysis of WC-Co carbide blades modified with PVD coating subjected to blunting during milling in chipboard, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 398-407. DOI: 10.1080/17480272.2023.2251026 **(IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań oraz określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem zakrojone na szeroką skalę studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych (krajowych i zagranicznych). W zespole tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę wszystkich uzyskanych wyników i przygotowałem niezbędne wykresy. Zleciłem i nadzorowałem przeprowadzenie modyfikacji narzędzi w przemyśle, a także pomiary mikrogeometrii ostrzy z wykorzystaniem zaawansowanych technologicznie profilemetrów stykowych. Ponadto opracowałem metodę obróbki konturów ostrzy w środowisku AutoCad przedstawioną obszernie w publikacji **A7**, którą następnie wykorzystywałem podczas pisania publikacji **A8**. Jako pierwszy i jednocześnie korespondencyjny autor przygotowałem wstępne oraz finalne wersje abstraktu, na bieżąco wprowadzając poprawki wynikające z uwag recenzentów. Mój ogólny udział szacuję na 85%.

A8. P. Czarniak, K. Szymanowski, P. Panjan, D. Jarosiewicz (2023). Influence of WC-Co knifes pre-treatment with drag finishing method subjected to tool coatings deposition on blunting process, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 391-397. DOI: 10.1080/17480272.2023.2248471 **(IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).**

Byłem pomysłodawcą, inicjatorem i autorem koncepcji badań oraz określiłem ich szczegółowy zakres i cel naukowy (było to możliwe dzięki temu, że wcześniej przeprowadziłem szeroko zakrojone studium literaturowe). W celu realizacji zaplanowanych na tej podstawie badań stworzyłem kilkuosobowy, interdyscyplinarny zespół badawczy złożony z pracowników różnych jednostek naukowych (krajowych i zagranicznych). W zespole tym pełniłem rolę lidera, koordynatora i zarazem jednego z głównych wykonawców. Zaproponowałem szczegółową metodykę badań. Osobiście przygotowałem i wykonałem badania eksploatacyjne narzędzi z wykorzystaniem obrabiarki CNC, będącej na wyposażeniu KMOD SGGW. Po zakończeniu badań eksperymentalnych przeprowadziłem analizę wszystkich uzyskanych wyników i przygotowałem niezbędne wykresy. Zleciłem i nadzorowałem przeprowadzenie modyfikacji narzędzi w przemyśle, a także pomiary mikrogeometrii ostrzy z wykorzystaniem zaawansowanych technologicznie profilemetrów

stykowych. Jako pierwszy i jednocześnie korespondencyjny autor przygotowałem wstępne oraz finalne wersje abstraktu, na bieżąco wprowadzając poprawki wynikające z uwag recenzentów. Mój ogólny udział szacuję na 85%.

Zestawienie liczby punktów MNiSW/MEiN oraz wartości wskaźnika IF dotyczące publikacji stanowiących udokumentowanie mojego, wspomnianego wyżej, osiągnięcia naukowego zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie liczby punktów MNiSW/MEiN oraz wartości wskaźnika IF dotyczące publikacji **A1-A8**

Czasopismo	Rok wydania	Liczba publikacji	Liczba punktów MNiSW	Sumaryczna liczba punktów MNiSW	Impact Factor	Sumaryczny Impact Factor
Czasopisma z listy A						
Materials Science & Engineering	2020	1	100	100	3,400	3,400
Materials	2021	1	140	140	4,051	4,051
Materials	2022	1	100	100	3,748	3,748
Forests	2022	1	100	100	2,900	2,900
Wood Material Science & Engineering,	2023	4	100	400	2,200	8,800
RAZEM	-	**8**	-	**840**	-	**22,899**

4.3 AKTUALNOŚĆ PODJĘTEJ TEMATYKI BADAWCZEJ

Doniosłość i aktualność powyższej problematyki naukowej stała się dla mnie oczywista już w latach 2009-2013, czyli w czasie, gdy byłem jednym z głównych wykonawców grantu (MNiSzW Nr N N309 007537) dotyczącego skrawalności materiałów drewnopochodnych.

Ocena skrawalności rozumianej jako podatność materiału na obróbkę mechaniczną jest kluczowym zagadnieniem zarówno z praktycznego, jak i naukowego punktu widzenia. Podstawą do jej wyznaczania może być wiele kryteriów i wskaźników dotyczących m.in. oporów skrawania, jakości obróbki czy trwałości narzędzi. Szczególnie ten ostatni wskaźnik wydaje się istotny z praktycznego punktu widzenia. Podczas realizacji ww. grantu okazało się, że obróbka podstawowego materiału stosowanego w meblarstwie, czyli obróbka płyty wiórowej, stwarza wiele poważnych problemów. Związane jest to chociażby z przedwczesnym i, co bardzo istotne, nieprzewidywalnym zużyciem standardowych ostrzy wykonanych z węglików spiekanych. Węgliki spiekane odznaczają się wysoką twardością, która zapewnia im wysoką odporność na ścieranie, ale zarazem mają niską udarność, co oznacza znaczące ryzyko pojawienia się zjawiska tzw. kruchego pękania prowadzącego do katastroficznego zużycia ostrza.

Co najmniej od połowy lat 60. XX wieku wiadomo, że znaczną poprawę trwałości narzędzi skrawających można uzyskać przez nanoszenie na ich ostrza specjalnych, cienkich powłok ochronnych. Koncepcja ta, dość popularna w przypadku obróbki metali, nie znalazła

jednak na razie powszechnego zastosowania w przemyśle drzewnym. Zróżnicowanie mechanizmów zużyciowych zachodzących przy obróbce stali i materiałów drzewnych sprawia, że powłoki, które doskonale sprawdzają się podczas obróbki stali, często okazywały mało efektywne np. podczas obróbki płyt wiórowych *[Porankiewicz 2003]*.

Problem nanoszenia powłok ochronnych na różnego typu narzędzia jest od lat przedmiotem coraz bardziej zaawansowanych prac naukowo-badawczych. Ustalono m.in., że istotny wzrost trwałości ostrzy powlekanych można osiągnąć np. poprzez odpowiedni dobór parametrów procesu (temperatura, czas, ciśnienie, rodzaj stosowanego gazu), zastosowanie tzw. nanopowłok wielowarstwowych czy powłok nanokompozytowych, które łączą w sobie zalety różnego rodzaju materiałów o odmiennej strukturze krystalograficznej. Innym trendem w tej dziedzinie jest wykorzystywanie węgla, który dzięki odpowiednim zabiegom technologicznym staje się twardy jak diament, dając przy tym wyjątkową odporność na ścieranie. Dotyczy to szczególnie powłok typu DLC (Diamond Like Carbon). Coraz bardziej popularne stają się funkcjonalne powłoki gradientowe, czyli takie, w których zróżnicowanie grubości poszczególnych podwarstw pozwala na jeszcze lepsze dostosowanie ich właściwości do określonych zadań. Ponadto wg ***Dobrzańskiego i Dobrańskiej-Danikiewicz [2011]*** tego typu struktura powłoki zapobiega gwałtownym skokowym zmianom właściwości między właściwą powłoką a podpowłokami, które prowadzą do koncentracji naprężeń zarówno podczas ich wytwarzania, jak i eksploatacji.

Jednym z kierunków w jakim podążają niektóre ośrodki badawcze czy firmy narzędziowe jest stosowanie wstępnej mikroobróbki ściernej *[Rodriguez 2009, Bouzakis et al. 2014]*. Obszerny opis różnych metod opartych na obróbce mikrościernej powierzchni narzędzia zaprezentowali: ***Bouzakis et al. [2005], Cselle [2007], Arun [2015]*** czy ***Zhou et al. [2023]***. Oprócz poprawy przyczepności podłoża wynikającej z korzystnych zmian w morfologii powierzchni można także dzięki temu zoptymalizować mikrogeometrię ostrza. Między innymi uzyskuje się zwiększenie promienia zaokrąglenia. Pozwala na zminimalizowanie ryzyka utraty ciągłości powłoki na samym wierzchołku, czyli w miejscu najbardziej newralgicznym. Zabiegi tego typu pozwalają także na wzrost grubości powłoki w tym miejscu, co jest z punktu widzenia trwałości narzędzia zjawiskiem bardzo korzystnym *[Cselle 2007]*.

Rezultaty uzyskane przez ***Denkena et al. [2010]*** czy ***Denkena i Biermanna [2014]*** dowodzą, że mechanizm zużywania się ostrza zależy zarówno od mechanicznych właściwości węglika spiekanego, jak i jego mikrogeometrii. Autorzy wskazują na potencjalne możliwości zwiększenia trwałości narzędzia dzięki odpowiedniemu dopasowaniu jego geometrii do obrabianego materiału. Zmiana promienia zaokrąglenia pozwala na ograniczenie naprężeń wewnętrznych z uwagi m.in. na zwiększenie obszaru przejściowego między powierzchnią przyłożenia i natarcia. Ponadto dzięki temu zabiegowi poprawia się stabilność pracy narzędzia *[Bouzakis et al. 1998, 2009, 2002, Biermann i Baschin 2009, Skordaris 2016, Zhao et al. 2017]*. Szczególnie narażone na wspomniane wcześniej nadmierne obciążenia są narzędzia pokrywane różnego rodzaju powłokami nanokompozytowymi oraz opartymi na diamencie, które pracują w trybie przerywanym *[Sheikh-Ahmad i Morita 2001, Sheikh-Ahmad et al. 2003, Sheikh-Ahmad i Chipalkati 2015]*. Zjawisko to wynika z obecności naprężeń szczątkowych powstałych na skutek różnic w właściwościach cieplnych między nakładaną powłoką a podłożem.

Jedna z najważniejszych metod obróbki mikrościernej to mikropiaskowanie, które opiera się na odziaływaniu strumienia mikrocząstek ściernych unoszonych przez strumień powietrza lub wody. Wadą suchego mikropiaskowania są problemy związane z zapyleniem. Ponadto przy tym wariancie pozostają na powierzchni ostrza pozostałości materiału. W metodzie suchej poprawa trwałości jest widoczna tylko przy niskim ciśnieniu i drobnym ścierniwie. Z kolei mikropiaskowanie mokre, które charakteryzuje się lepszą wydajnością i elastycznością procesu, wymaga odpowiednio dobranych instalacji sprężonego powietrza, ale też pozwala na użycie grubszych ziaren ścierniwa ***[Bouzakis et al. 2011a,2011b]***

Zabiegi tego typu można stosować zarówno przed, jak i po nakładaniu powłok narzędziowych. Do zalet przeprowadzenia obróbki mikrościernej po nałożeniu powłoki należy możliwość jednoczesnego zaokrąglenie krawędzi i usunięcia wad powierzchniowych w postaci zastygłych kropli. Badania *X-ray diffraction* (XRD) wykazały, że wskutek oddziaływania cząstek ściernych następuje wzrost sprężystych naprężeń ściskających zarówno w powłoce, jak i podłożu. Ich wzrost na granicy podłoża i powłoki wg ***Baragettiego et al. [2005]*** czy ***Gelfiego et al. [2005]*** pozytywnie wpływa na jej wytrzymałość mechaniczną. Do wad należą natomiast m.in. zaburzenia ciągłości powłoki na dłuższym odcinku krawędzi skrawającej i zmniejszenie jej grubości. W pracy ***Montesano et al. [2013]*** zastosowano metodę kombinowaną, tzn. po nałożeniu pierwszej warstwy powłoki CrN na stali narzędziowej przeprowadzono proces mikropiaskowania, po czym została nałożona druga warstwa. Mikropiaskowanie skutecznie usunęło większość kropli i defektów powstałych w trakcie nakładaniu powłoki PVD. Ci sami autorzy w innym artykule również przeprowadzili proces mikropiaskowania, ale już po finalnym nałożeniu powłoki CrN ***[Montesano et al. 2016].***

Modyfikację promienia zaokrąglenia z użyciem mikropiaskowania przeprowadzili ***Biermann et al. [2012]*** podczas wiercenia głębokich otworów wiertłem jednoostrzowym o średnicy 5 mm w stali 42CrMo4+QT (AISI 4137). Badania przeprowadzone przez ***Vopata et al. [2018]*** pokazały, że zwiększenie promienia zaokrąglenia w wiertłach wykonanych z węglika spiekanego z 15 do 25 μm przed nałożeniem powłoki PVD TiAlN przyniosło przyrost trwałości nawet o 163%.

Inną z możliwych do zastosowania metod obróbki mikrościernej jest drag finishing. W tym przypadku granulat o odpowiedniej wielkości i składzie znajduje się w pojemniku, a modyfikowane narzędzie zostaje w nim zanurzone i wykonuje ruch okrężny w 3 osiach. Ma ona wiele zalet, do których należy przede wszystkim dobra jakość powierzchni z uwagi na proces usuwania kropli z powierzchni w trakcie modyfikacji. Metoda ta zapewnia zarówno wydajność, jak i elastyczność na dobrym poziomie. Badania trwałościowe dotyczące mikrofrezowania przy użyciu frezów o zmienionej mikrogeometrii uzyskanej dzięki metodzie drag-finishing przeprowadzili ***Uhlmann et al. [2014]***. W stosunku do narzędzia niemodyfikowanego osiągnięto wzrost trwałości o 14% oraz, co jest też istotne, analiza wariancji wyników pokazała jej spadek aż o 92%.

Analizę procesu drag finishing przeprowadzili także ***Pätoprstý et al. [2019]***. Z publikacji wynika, że w przypadku drag finishing zmiany dotyczące makrogeometrii (kąty przyłożenia, natarcia itd.) są pomijalne, a rozrzut wartości kąta pochylenia spirali, na której rozmieszczono ostrza skrawające, i kąta przyłożenia w użytych do badań jednolitych frezach wykonanych z węglika spiekanego K20-K30 (wg ISO) jest mniejszy niż przed modyfikacją.

Peterka et al. [2020] przeanalizowali wpływ czasu, przez jaki powierzchnia ostrza jest poddawana oddziaływaniu ścierniwa na wielkość promienia zaokrąglenia. Okazało się, że po wstępnej fazie procesu wielkość promienia zaokrąglenia się stabilizuje i zmniejsza się tempo jego przyrostu. Doboru parametrów obróbki podczas modyfikacji drag finishing dotyczy także praca *Peterki et al. [2018]*, w której określono najbardziej optymalne wartości prędkości obrotowej głowic, szybkości zanurzania narzędzi w ścierniwie i czasu procesu. Z kolei analizę wpływu rodzaju użytego ścierniwa przeprowadził *Lv et al. [2022]*. Porównanie metody tzw. wygładzania (honing) i mikropiaskowania pod kątem trwałości narzędzi wykonanych z PM-HSS zaprezentowali *Rech et al. [2006]. Zlamal et al. [2019]* porównali obie wcześniej wspomniane metody, tj. mikropiaskowanie i drag finishing, zastosowane do poprawienia jakości powierzchni powłok PVD (TiAlN+TiN). W trakcie badań przeprowadzono obróbkę frezowaniem stali gatunku C45. Z badań wynika, że aby uzyskać zadowalające efekty, niezbędne jest precyzyjne dobranie parametrów obróbki mikrościernej.

Analizując dostępną literaturę można stwierdzić, że badań dotyczących wpływu obróbki mikrościernej narzędzi przeznaczonych do obróbki materiałów drewnopochodnych jest bardzo mało. Należy do nich praca *Nouveau et al. [2009]*, w której dwukrotnej obróbce mokrego mikropiaskowania poddano powłokę CrN naniesioną na stal HSS (90CrMoV6). Zastosowano jedno- lub dwukrotne mikropiaskowanie przed nałożeniem powłoki. Pozytywne rezultaty osiągnięto już po jednym piaskowaniu, a do końca testu odkształcenia ostrza miały charakter plastyczny, co przełożyło się na lepszą jakość otrzymanego forniru.

Analizując wpływ zmian w mikrogeometrii ostrza wywołanych tego typu obróbką na trwałość narzędzia, należy wziąć pod uwagę nie tylko zmianę promienia zaokrąglenia, lecz także ingerencję w inne parametry geometrycznie definiujące ostrze. I tutaj pojawia się poważny problem, w jaki sposób precyzyjnie scharakteryzować jego mikrogeometrię, a także jakie skutki wywołuje mechaniczne odziaływanie cząstek ściernych na powierzchnię natarcia czy przyłożenia. Jest to zagadnienie bardzo złożone z uwagi na różnorodność kształtów, jakie może przybierać ostrze skrawające.

Wyen et al. [2011] przedstawili obszerny przegląd metod pozwalających na precyzyjne i wiarygodne scharakteryzowanie mikrogeometrii zaokrąglenia. Z przytoczonej pracy wynika, że na wielkość wyznaczanego podczas pomiarów promienia zaokrąglenia bardzo istotnie wpływają: wspomniany wcześniej kształt zaokrąglenia, przyjęta procedura i wykorzystane w tym celu parametry geometryczne. Na przykład *Tikal i Holsten [2006, 2008]*, analizując sfazowaną i jednocześnie zaokrągloną krawędź, zaproponowali procedurę polegającą na wyznaczeniu dwóch okręgów o różnych promieniach przypisanych do ww. fragmentów konturu.

Ponadto przy analizie mikrogeometrii należy uwzględnić położenie narzędzia podczas procesu skrawania ustalone na podstawie jego specyfikacji technicznej, w której zawarte są informacje o kącie skrawania czy przyłożenia. Spośród najistotniejszych parametrów mających wpływ na warunki pracy ostrza należy wielkość h (czyli *undeformed chip thickness* czy γ_{eff} (ujemny kąt natarcia). Istotną rolę odgrywają tzw. współczynniki asymetrii zaokrąglenia wyrażone symbolem *K*. Mogą one zostać wyznaczone na podstawie wielu parametrów geometrycznych opisujących kontur wierzchołka ostrza. Najczęściej można spotkać się ze współczynnikiem *KS*, w którym pod uwagę wzięto stosunek zużycia narzędzia od strony

powierzchni natarcia do analogicznej wartości, ale wyznaczonej od strony powierzchni przyłożenia.

Ich wpływ na zachowanie się narzędzia podczas eksploatacji przeanalizowali ***Denkena et al. [2012]***. Zwrócono uwagę na to, że przesunięcie wierzchołka zaokrąglenia, czyli tzw. punktu n w kierunku powierzchni natarcia ($K > 1$), powoduje wzrost wysokiego cieplno-mechanicznego obciążenia związanego z tzw. ujemnym kątem natarcia γ_{eff}. W efekcie dominuje zużycie od strony powierzchni natarcia. Z kolei przy współczynniku asymetrii $K < 1$ mamy do czynienia z przyśpieszonym procesem ścierania od strony powierzchni przyłożenia. ***Fulemová i Řehoř [2015]*** przyjęli podczas frezowania stali X12CrMoVNbN9-1 przedział wartości współczynnika asymetrii K: 0,55-2,5. Promień zaokrąglenia ostrza wykonanego z węglika spiekanego wyniósł 15 µm. Noże były modyfikowane przy użyciu metody drag finishing. Przy wartościach K równych 1.6 oraz 2 zaobserwowano wyszczypy na krawędzi skrawającej, co jest zbieżne z przytoczonymi wcześniej wynikami uzyskanymi przez ***Denkena et al [2012]***. Wynika z tego jednoznacznie, że dobór odpowiedniego współczynnika asymetrii zaokrąglenia K może wydłużyć okres eksploatacji narzędzia.

Doniesień literaturowych dotyczących wpływu mikrogeometrii na okres trwałości narzędzi powlekanych powłokami przeznaczonymi do obróbki drewna i innych materiałów drzewnych jest bardzo mało. Temat ten nie został dokładnie przeanalizowany, a jedna z nielicznych prac naukowych, jeśli nie jedynych, dotyczy wpływu zmiany promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej przy różnych rodzajach powłok przeznaczonych do obróbki cięciem, naniesionych na wkładki wykonane z węglika spiekanego WC-Co, tj. CrN/CrCN/, CrN/AlTiN, CrN/CrCN, i CrCN/TiSiCN ***[Torkghashghaei et al. 2022]***.

Testy przeprowadzone w ww. publikacji obejmowały rozkrój kantówki pochodzącej z drzew iglastych (świerk, sosna i jodła) na pilarce tarczowej wielopiłowej w celu uzyskania wymiarowej tarcicy konstrukcyjnej. Modyfikacja kształtu krawędzi ostrzy wykonanych z węglika spiekanego WC-Co poprzez jedną z odmian obróbki mikrościernej, czyli wygładzania (*honing*), polegała na uzyskaniu profilu zaokrąglenia typu waterfall przy wartości współczynnika asymetrii $K = 2$. Przeprowadzone badania pokazały, że okres eksploatacji narzędzi wydłużył się o 100%. Z praktycznego punktu widzenia oznacza to, że w warunkach przemysłowych możliwe jest wydłużenie okresów pracy między wymianą i ostrzeniem pił z 11 h do 24 h. Biorąc pod uwagę przedstawiony powyżej przegląd literatury, można uznać, że istnieje w pełni uzasadniona potrzeba przeanalizowania wpływu mikrogeometrii narzędzi także w innych operacjach technologicznych, takich jak frezowanie czy wiercenie. Wszystkie te działania mają na celu opracowanie współczesnych możliwości zwiększania odporności na zużycie narzędzi skrawających do drewna i materiałów drewnopochodnych za pomocą nanoszenia powłok PVD.

4.4 CEL NAUKOWY

Głównym celem naukowym było wskazanie współczesnych powłok narzędziowych, które wykazują się najlepszymi właściwościami użytkowymi podczas obróbki materiałów drzewnych. Ponadto analizowano możliwości dodatkowego zwiększania trwałości narzędzi z powłokami PVD metodą ich wstępnego (tzn. dokonywanego przed naniesieniem powłoki) zaokrąglania z użyciem tzw. mikroobróbki ściernej.

4.5 OMÓWIENIE OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW

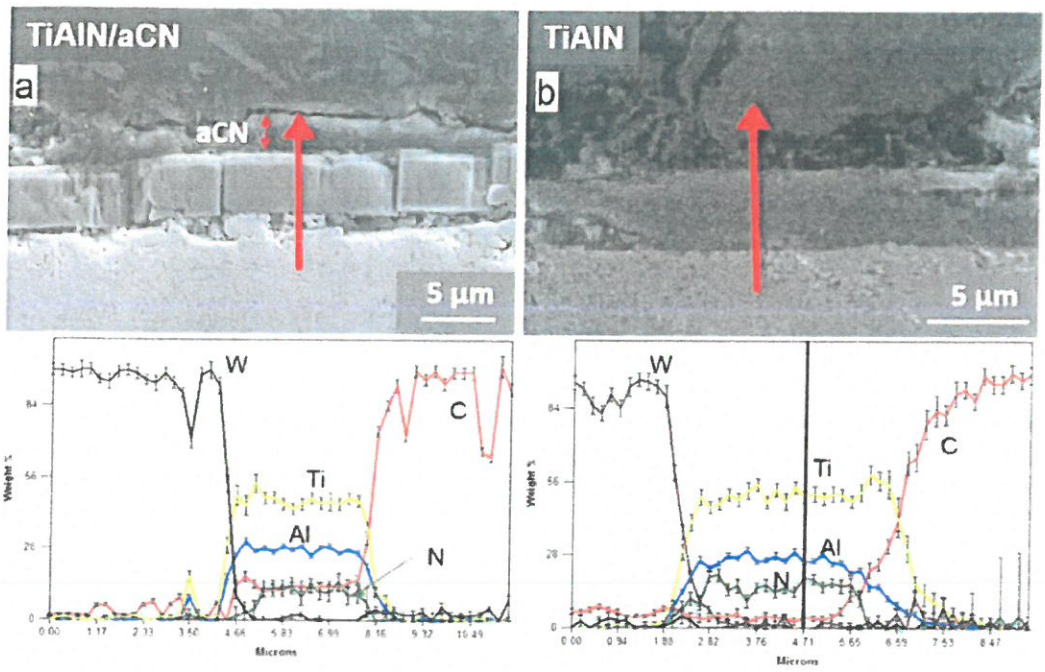
A1. P. Czarniak, K. Szymanowski, B. Kucharska, A. Krawczyńska, J. Sobiecki, J. Kubacki, P. Panjan (2020). Modification of tools for wood based materials machining with TiAlN/aCN coating, Materials Science & Engineering B, 257, 114540 (IF: 3,400/Pkt. MNiSW: 100).

Podczas badań, na podstawie których powstała omawiana publikacja, narzędzia wykonane z węglik spiekanego WC-Co powszechnie stosowanego w obróbce materiałów drewnopochodnych poddano testom trwałościowym na przemysłowej obrabiarce CNC. Proces tępienia odbywał się podczas frezowania standardowej trójwarstwowej płyty wiórowej o gr. 18 mm powszechnie używanej w przemyśle meblarskim. Jako kryterium stępienia przyjęto wartość wskaźnika zużycia (maksymalne zużycie na powierzchni przyłożenia) VB_{max} = 0,2 mm. W pierwszym etapie badań wszystkie analizowane ostrza (łącznie 16 ostrzy) zostały zmodyfikowane poprzez zastosowanie pojedynczej powłoki TiAlN naniesionej metodą PVD (*magnetron sputtering*). W kolejnym kroku, po odpowiednim przeprogramowaniu urządzenia PVD, na połowę z nich, czyli na 8 ostrzy, nałożono dodatkową wierzchnią warstwę zawierającą węgiel amorficzny aCN o grubości ok. 600 nm. W sumie całkowita grubość dwuwarstwowej powłoki TiAlN/aCN wynosiła ok. 3,9 μm.

Analizę morfologii oraz topografii powierzchni i składu chemicznego przeprowadzono przy użyciu mikroskopu skaningowego (SEM) wyposażonego w przystawkę EDS (*Energy Dispersive Spektroscopy*). Analiza EDS przedstawiona w tabeli 1 potwierdza obecność węgla w dwuwarstwowej powłoce TiAlN/aCN przy znacznie mniejszej zawartości Al w stosunku do jednowarstwowej powłoki TiAlN. Skład chemiczny widoczny na przekrojach poprzecznych (rys. 1) uzyskanych z mikroskopu skaningowego wskazuje na większą zawartość Al niż C w środkowej strefie na przekroju poprzecznym powłoki TiAlN/aCN. Obecność węgla na powierzchni wynika z faktu, że próbki były zainkludowane w żywicy fenolowo-formaldehydowej z dodatkiem grafitu. Skład chemiczny uzyskanych powłok przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Analiza składu chemicznego powłok pojedynczej TiAlN oraz podwójnej TiAlN/aCN wyrażonego w udziałach masowych otrzymana dzięki analizie EDS na mikroskopie skaningowym SEM

wt [%]	W	Co	Ti	Al	N	O	C
Podkład	94,4	2,5	-	-	-	-	2,8
TiAlN	-	-	48,3	27,3	18,1	1,3	5,1
TiAlN/aCN	-	-	34,6	18	11,5	4	31



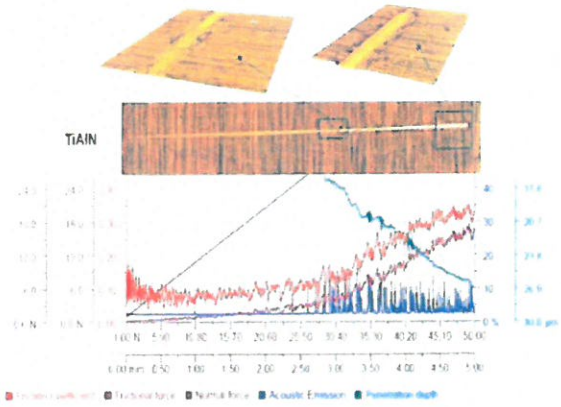
Rysunek 1. Przekroje poprzeczne SEM powłoki TiAlN/aCN (a) oraz TiAlN (b) i ich skład chemiczny

Analiza chropowatości, której wyniki pokazano w tabeli 3, wykazała, że surowe noże, czyli takie, które nie były poddane modyfikacji, mają mniejszą chropowatość niż ich powierzchnia po nałożeniu zastosowanych w pracy powłok PVD.

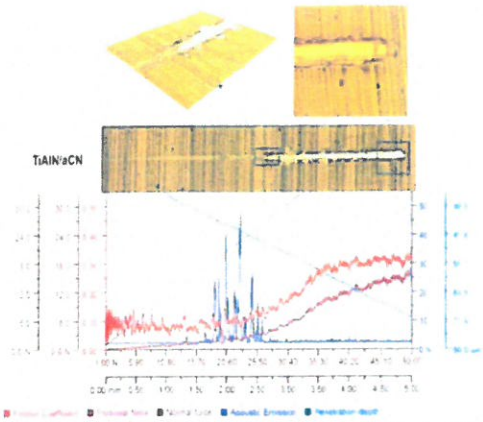
Tabela 3. Wyniki badań dotyczących chropowatości powierzchni

Wyszczególnienie	R_a [nm]	R_q[nm]
Podłoże	253	317
TiAlN	337	444
TiAlN/aCN	375	479

Ponadto przeanalizowano mikrostrukturę powłok, wykorzystując metodę XPS (*X-ray photoemission spectroscopy*) i AES (*Auger Electron Spectroscopy*). Analizy XRD (*X-ray diffraction*) potwierdziły obecność krystalicznej struktury podpowłoki TiAlN oraz amorficznej, czyli tzw. bezpostaciowej wierzchniej warstwy aCN. Badania uzupełniono o testy dotyczące odporności na zarysowania pokazane na rysunkach 2-3. Stwierdzono, że mechanizm powstawania uszkodzeń w obu przypadkach jest odmienny. Pierwszy skokowy wzrost wartości sygnału emisji akustycznej AE w przypadku powłoki TiAlN/aCN pojawił się przy sile Lc1 = 18,3 N przy jednoczesnym braku wizualnych oznak oddzielenia się powłoki od podłoża. Świadczy to o tym, że miękka warstwa węgla amorficznego aCN jest wgniatana w twarde podłoże zawierające TiAlN. Całkowite zniszczenie obu powłok nastąpiło przy wartości Lc2 odpowiednio: 29 i 27,6 N.



Rysunek 2. Współczynnik tarcia, AE i widok zarysowań jako funkcja długości zarysowania i wywieranej przez wgłębnik siły dla pojedynczej powłoki TiAlN



Rysunek 3. Współczynnik tarcia, AE i widok zarysowań jako funkcja długości zarysowania i wywieranej przez wgłębnik siły dla wielowarstwowej nanopowłoki powłoki TiAlN/aCN

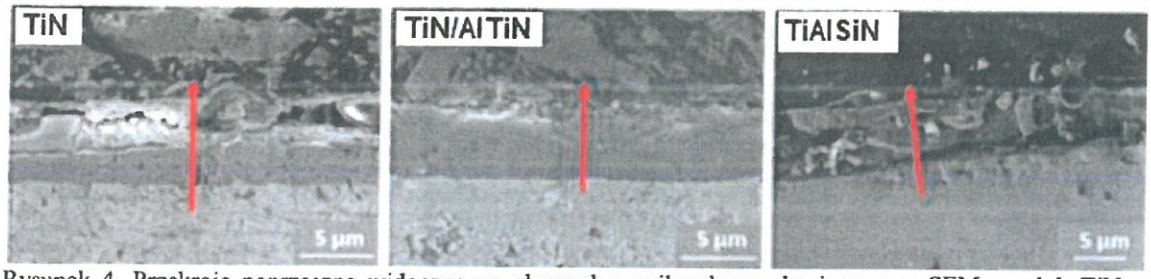
Testy trwałościowe pokazały, że podwójna powłoka TiAlN/aCN wykazuje znacznie większą trwałość wyrażoną drogą skrawania w stosunku do pojedynczej powłoki TiAlN (6740 m *vs.* 5275 m). Trwałość tej ostatniej okazała się nawet mniejsza niż trwałość narzędzia referencyjnego. Powłoka TiAlN charakteryzuje się także dużym rozrzutem wyników spowodowanym jej mniejszą odpornością na tzw. kruche pękanie. Potwierdzają tę tezę wykruszenia widoczne na obrazach uzyskanych podczas testu zarysowań. Generalnie można przyjąć, że powłoka TiAlN, która w przemyśle maszynowym znajduje szerokie zastosowanie, pomimo dużo większej twardości w stosunku do dwuwarstwowej powłoki TiAlN/aCN w przypadku obróbki materiałów drzewnych okazała się nieprzydatna.

A2. B. Kucharska, **P. Czarniak**, K. Kulikowski, A. Krawczyńska, K. Rożniatowski, J. Kubacki, K. Szymanowski, P. Panjan, J. R. Sobiecki (2022). Comparison Study of PVD Coatings: TiN/AlTiN, TiN and TiAlSiN Used in Wood Machining, Materials, 15, 7159 (IF: 4,051/Pkt. MNiSW: 100).

Niniejsza publikacja stanowi uzupełnienie poprzedniej, w której pozytywnie pod kątem trwałości narzędzia oceniono dwuwarstwową powłokę TiAlN/aCN. Po odpowiednim przekonfigurowaniu komory roboczej w urządzeniu PVD i zmianie targetów, czyli źródeł pierwiastków, uzyskano oprócz pojedynczej powłoki typu TiN kolejne dwa rodzaje, tj. wielowarstwową nanopowłokę TiN/AlTiN i nanokompozytową powłokę TiAlSiN. W przypadku pojedynczej powłoki TiN zastosowano tzw. odparowywanie łukowe (*cathodic arc, evaporation*). Z kolei w dwóch pozostałych nakładanie odbywało się z użyciem pola magnetycznego (*magnetron sputtering*). Analogicznie jak w wymienionych wcześniej pracach zastosowano noże wykonane z węglika spiekanego WC-Co. Podczas testów trwałościowych na przemysłowej obrabiarce CNC, stosując tę samą metodykę badań jak w pracy **A1**, zweryfikowano również ich właściwości użytkowe. Grubość poszczególnych warstw TiN oraz TiAlN w wielowarstwowej nanopowłoce TiN/AlTiN wahała się w przedziale 5-10 nm w zależności od poleżenia noża w płaszczyźnie pionowej podczas procesu nanoszenia w komorze roboczej. Całkowita grubość uzyskanych powłok ustalona na podstawie badań z

zastosowaniem mikroskopu skaningowego SEM wykonanych na przekrojach poprzecznych wynosiła ok 5 μm. Do badań dotyczących analizy składu chemicznego wykorzystano metodę energy-dispersive spectroscopy (EDS).

Na podstawie wizualnej analizy obrazów mikrostruktury na przekroju poprzecznym stwierdzono dobrą przyczepność powłoki TiN/AlTiN oraz TiN do podłoża (rys. 4).



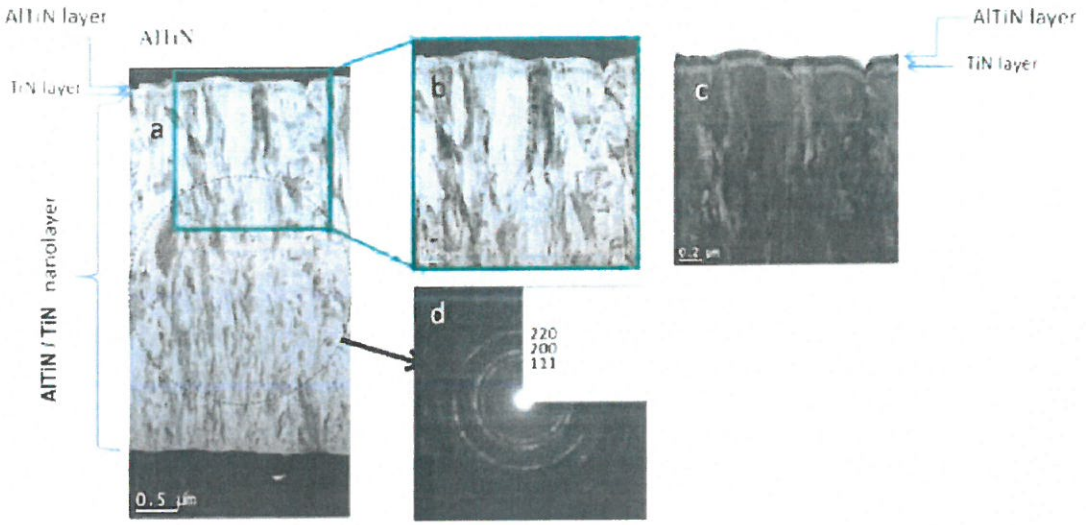
Rysunek 4. Przekroje poprzeczne widoczne na obrazach z mikroskopu skaningowego SEM powłok TiN, TiN/AlTiN i TiAlSiN

Niestety nanokompozytowa powłoka TiAlSiN wykazała pęknięcia powstałe już w trakcie procesu szlifowania i polerowania podczas przygotowywania próbki do analiz. Częściowo można to zjawisko wytłumaczyć obecnością atomów krzem i tym samym zwiększeniem kruchości uzyskanej w ten sposób warstwy. Skład chemiczny uzyskanych powłok przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Analiza składu chemicznego powłok TiN, TiN/AlTiN oraz TiAlSiN otrzymana dzięki analizie EDS na mikroskopie skaningowym

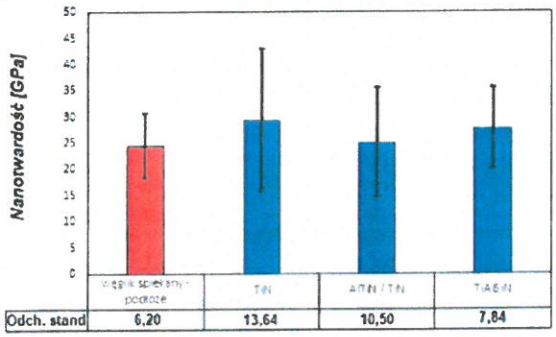
wt [%]	W	Co	Ti	Al	N	O	C	Si
Podłoże	54,7	2,7	-	-	-	6	37,2	-
TiN	-	-	61,3	-	38,7	-	-	-
TiN/AlTiN	-	-	25,3	26,1	34,2	2,3	12,2	-
TiAlSiN	-	-	41,1	5,1	35,4	-	12,2	6,2

Z uwagi na fakt, że okres eksploatacji narzędzia pokrytego nanopowłoką wielowarstwową TiN/AlTiN był najdłuższy, poddano ją także badaniom uzupełniającym, na STEM (*scanning transmission electron microscope*) oraz XPS (*X-ray photoelectron spectroscopy*), które potwierdziły obecność naprzemiennie ułożonych warstw TiN oraz AlTiN (rys. 5).

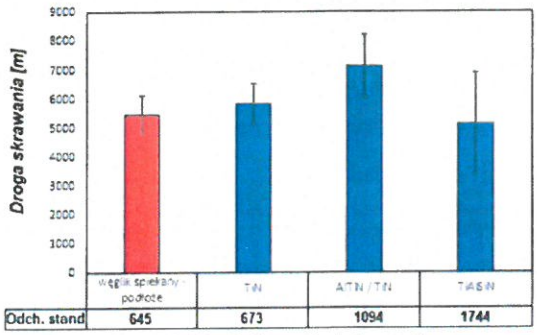


Rysunek 5. Obraz powłoki z elektronowego mikroskopu transmisyjno-skaningowego (*scanning transmission electron microskope* BF (*bright field*) – STEM) przy małym (a) i dużym powiększeniu (b). Obraz STEM w trybie kontrastowym i w powłoce TiN/AlTiN (bez dyfrakcji)

Zestawienie testów dotyczących nanotwardości oraz trwałości analizowanych powłok przedstawiono na rysunkach 6-7.



Rysunek 6. Wyniki badań nanotwardości



Rysunek 7. Wyniki badań trwałościowych

Z danych przedstawionych na wykresach wynika, że w przypadku materiałów używanych w przemyśle drzewnym wzrost nanotwardości nie oznacza zwiększenia okresu eksploatacji narzędzia. Przyczyn należy upatrywać w destrukcyjnym oddziaływaniu zanieczyszczeń mineralnych, wskutek których pojawiać się mogą uszkodzenia powłok wynikające ze zjawiska tzw. kruchego pękania.

Przedmiotem analiz była także morfologia powierzchni, a ściślej jej chropowatość. Pojedyncza powłoka TiN wykazała znaczny wzrost chropowatości powierzchni w stosunku do pozostałych. O ile wartość wskaźnika chropowatości powierzchni R_a dla wspomnianego podłoża wyniosła 253 nm, a dla dwóch pozostałych powłok ok. 290 nm, o tyle chropowatość powłoki TiN wyniosła aż 414 nm (tab. 5).

Tabela 5. Porównanie chropowatości powierzchni analizowanych powłok oraz podłoża

Materiał	R_a [nm]	R_q[nm]
Podłoże	253	317
TiN	414	532
TiN/AlTiN	295	377
TiAlSiN	279	373

Ponadto wykonano serię testów zarysowań, w których ocenę przyczepności przeprowadzono na podstawie wartości siły Lc3, przy której można zaobserwować pierwsze oznaki całkowitej destrukcji powłoki. Osiągnęła ona najwyższą wartość w przypadku powłoki TiAlSiN (32,8 N). Można na tej podstawie przypuszczać, że powinna ona być bardzo odporna na zużycie ścierne i obciążenia dynamiczne, które dominują podczas procesu skrawania takich materiałów drewnopochodnych jak płyta wiórowa, ale to założenie nie znajduje potwierdzenia w testach trwałościowych.

Z kolei dla dwóch pozostałych powłok, tj. wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN oraz pojedynczej powłoki TiN, zanotowano wartości siły Lc3, odpowiednio: 14,1 N i 32,8 N. Można zatem dojść do wniosku, że testy zarysowań nie odzwierciedlają dokładnie warunków panujących podczas obróbki skrawaniem. Kluczową rolę w przypadku powłoki TiN/AlTiN odegrała wysoka odporność na kruche pękanie uzyskana dzięki jej wielowarstwowej nanostrukturze. Reasumując, spośród trzech analizowanych powłok narzędziowych za najbardziej przydatną w obróbce materiałów drewnopochodnych uznano wielowarstwową nanopowłokę TiN/AlTiN.

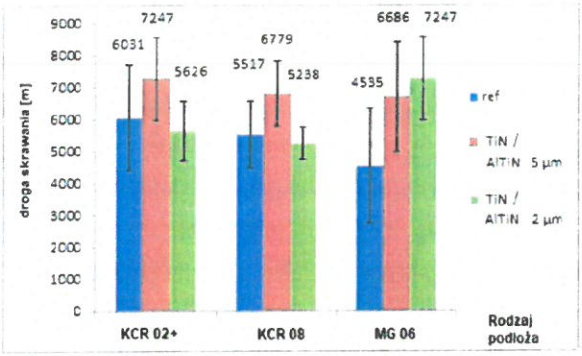
A3. B. Kucharska, J.R. Sobiecki, **P. Czarniak**, K. Szymanowski, K. Cymerman, D. Moszczyńska, P. Panjan (2021). Influence of Different Types of Cemented Carbide Blades and Coating Thickness on Structure and Properties of TiN/AlTiN and TiAlN/a-C:N Coatings Deposited by PVD Techniques for Machining of Wood-Based Materials, Materials, 14, 2740 (IF: 3,748/Pkt. MNiSW: 140).

Na podstawie wyników przedstawionych w pozycjach **A1** i **A2**. za najbardziej obiecującą w przemyśle drzewnym uznano wielowarstwową nanopowłokę TiN/AlTiN oraz podwójną powłokę TiAlN/aCN. Z tego też względu w następnym etapie badań postanowiono dokładnie przeanalizować wpływ wybranych czynników na ich właściwości eksploatacyjne, a w szczególności na trwałość narzędzi. Za kwestię najważniejszą uznano wpływ grubości powłoki i rodzaj zastosowanego podłoża, dlatego w badaniach przyjęto dwa warianty grubości, tj. ok. 2 μm i 5 μm. Przesłanką decydującą o wzięciu pod uwagę również rodzaju podłoża była różnorodność odmian węglika spiekanego WC-Co, którego właściwości powinny być ściśle dobrane do konkretnego rodzaju obrabianego materiału drewnopochodnego. W związku z tym uwzględniono trzy warianty narzędzi z WC-Co o zróżnicowanej wielkości ziarna WC i zawartości kobaltu Co. Procedura badań trwałościowych oraz materiał użyty do tępienia były takie same jak w przypadku dwóch poprzednich publikacji. Zestawienie właściwości poszczególnych rodzajów podłoża oraz uzyskanych grubości przedstawiono w tabeli 6.

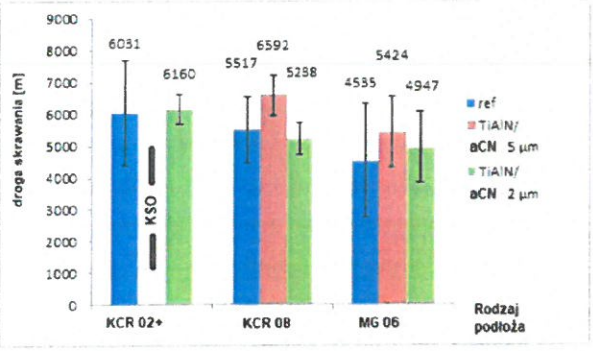
Tabela 6. Zestawienie rodzaju użytego węglika WC-Co i grubości powłok

INDEX WĘGLIKA	Opis ziaren WC	Wymiar ziaren [µm]	Powłoka	Grubość ~ 2 µm	Grubość ~ 5µm
KCR02+	ultra-fine nano	0,2-0,5	TiN/AlTiN	1,82	5,57
			TiAlN/aCN	1,64	5,81
KCR08	submikron	0,5-0,8	TiN/AlTiN	1,85	5,29
			TiAlN/aCN	1,51	6,22
MG06	micro	0,7-1,0	TiN/AlTiN	1,59	5,19
			TiAlN/aCN	1,61	6,14

Strukturę chemiczną i skład fazowy badanych powłok przeanalizowano przy użyciu *transmission* i *scanning electron microscopy* (TEM, SEM), *energy dispersion spectroscopy* (EDS) i *X-ray diffraction* (XRD). Rezultaty badań trwałościowych pokazano na rysunkach 8-9.

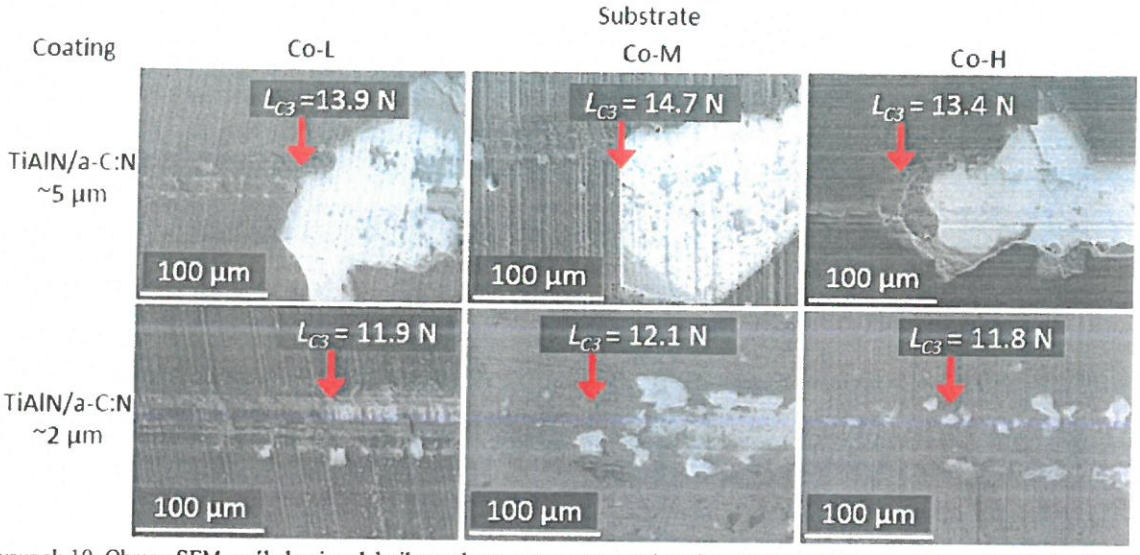


Rysunek 8. Wyniki testów trwałościowych powłoki TiN/AlTiN naniesionej na noże z węglika WC-Co typu ultra-fine-nano, submicron i micro

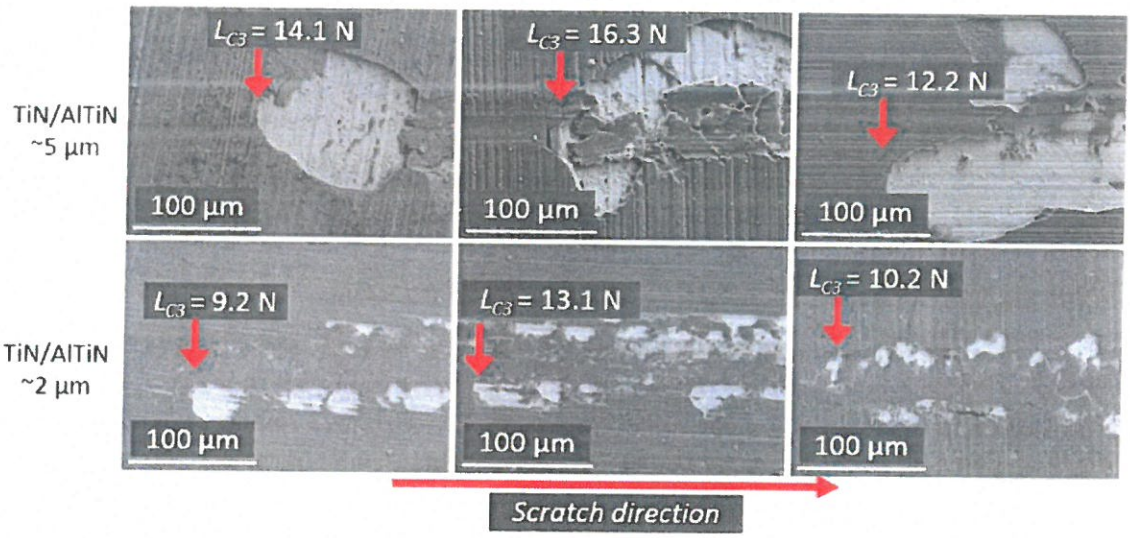


Rysunek 9. Wyniki testów trwałościowych powłoki TiAlN/aCN naniesionej na noże z węglika WC-Co typu ultra-fine-nano, submicron i micro

Porównując wyniki badań chropowatości z testami trwałościowymi, trudno ocenić, czy ma ona wpływ na żywotność narzędzia. Raczej należy przyjąć, że większą rolę pod tym względem odgrywa skład chemiczny powłoki niż jej chropowatość. Badania przy użyciu testu zarysowań wykazały, że siła Lc3, przy której obserwujemy początkową fazę całkowitego zniszczenia powłoki, ma większą wartość dla powłok o grubości ok. 5 µm. Jednakże, analizując obrazy SEM pokazane na rysunkach 10-11, zaobserwowano na nich duże obszary odsłoniętego podłoża świadczące o słabej przyczepności obu ww. powłok pomimo większej wartości siły Lc3.

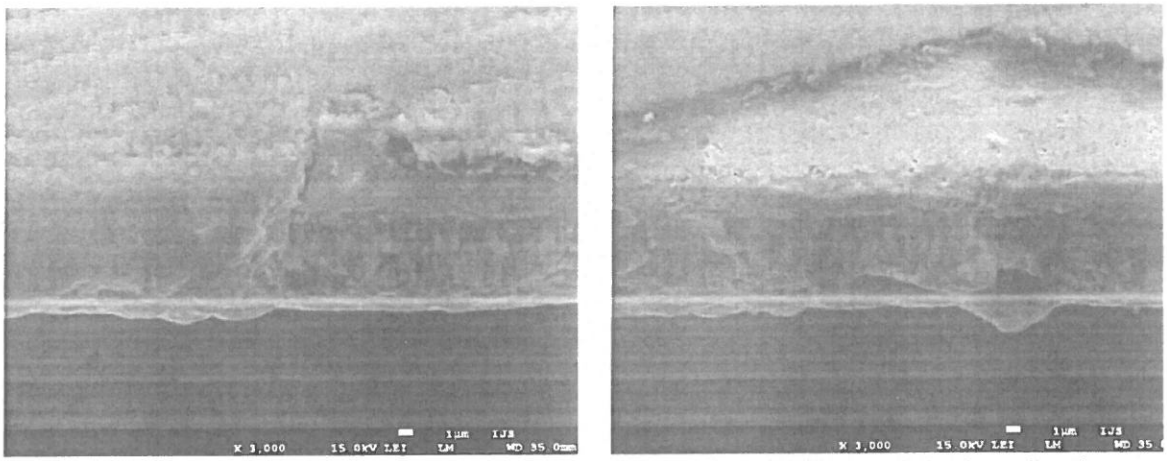


Rysunek 10. Obrazy SEM ze śladami wgłębnika podczas testu zarysowań zaobserwowanymi do momentu osiągnięcia siły Lc3 dla podwójnej powłoki TiAlN/aCN



Rysunek 11. Obrazy SEM ze śladami wgłębnika podczas testu zarysowań zaobserwowanymi do momentu osiągnięcia siły Lc3 dla podwójnej powłoki TiN/AlTiN

Mimo tak słabej adhezji powłok o większej grubości, czyli ok. 5 µm, w większości przypadków okazały się one w testach trwałościowych zdecydowanie trwalsze. Wyjątkiem jest tutaj podwójna powłoka TiAlN/aCN, w której dla węglika o najmniejszym ziarnie, czyli ultra-fine-nano (KCR 02+), charakteryzującego się największą twardością, zaobserwowano tzw. KSO, czyli katastroficzne stępienie ostrza. Fragmenty uszkodzonej powłoki pokazano na rysunku 12.



Rysunek 12. Obrazy SEM ilustrujące zniszczenie i destrukcję podwójnej powłoki TiAlN/aCN naniesionej na najtwardsze ostrze (ultra-fine nano – KCR 02+) przy całkowitej grubości powłoki ok. ~ 5 µm

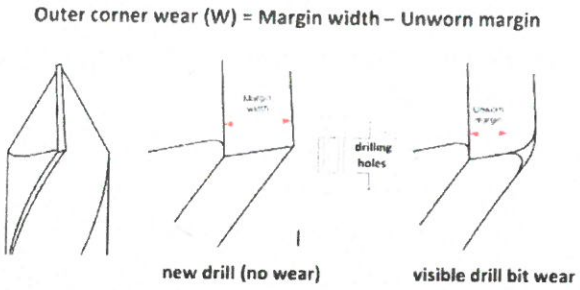
Z publikacji wynika jednoznacznie, że lepszą alternatywę w przypadku obróbki frezowaniem materiałów drewnopochodnych stanowi wielowarstwowa nanopowłoka TiN/AlTiN. Wprawdzie powłoka zawierająca węgiel amorficzny aCN również wydłuża żywotność ostrza z węglika spiekanego WC-Co, ale badania wykazały, że przy większej grubości naniesionej warstwy i twardym podłożu istnieje ryzyko przerwania ciągłości powłoki prowadzące do jej całkowitego zniszczenia.

A4. **P. Czarniak**, K. Szymanowski, P. Panjan, J. Górski (2022). Initial Study of the Effect of Some PVD Coatings ("TiN/AlTiN" and "TiAlN/a-C:N") on the Wear Resistance of Wood Drilling Tools, Forests, 13, 286 (IF: 2,900/Pkt. MNiSW: 100).

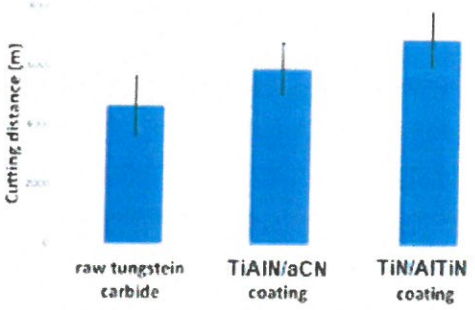
Na podstawie wyników uzyskanych w poprzednich trzech pracach, tj. **A1-A3**, dokonałem wyboru dwóch najbardziej przydatnych do obróbki materiałów drewnopochodnych powłok narzędziowych, tj. wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN oraz podwójnej powłoki TiAlN/aCN zawierającej węgiel amorficzny aCN. Zostały poddane one testom trwałościowym podczas wiercenia dwuostrzowymi wiertłami z ostrzami wykonanymi z węglika spiekanego WC-Co przeznaczonymi do wykonywania otworów przelotowych w standardowej trójwarstwowej płycie wiórowe o grubości 18 mm. Pomiaru zużycia danego wiertła dokonywano dla obu ostrzy. Mając na uwadze rezultaty wcześniejszych badań określających optymalną grubość powłok opisanych w pozycji **A3**, zastosowano grubość ok. 5 µm. Pomiaru zużycia narzędzia dokonywano każdorazowo po wykonaniu 100 otworów. Metodyka określania wartości wskaźnika oznaczonego symbolem W, którego procedura wyznaczania jest przedstawiona na rysunku 13. Przy czym do określenia okresu trwałości narzędzia brano pod uwagę wartość średnią z obu ostrzy. Analiza krzywych zużycia pokazała, że w pierwszym etapie eksploatacji narzędzia wykonane z węglika spiekanego WC-Co (K05) powlekane obiema ww. powłokami zachowywały się znacznie lepiej niż narzędzia niemodyfikowane. Po przekroczeniu 800 otworów zaobserwowano jednak wyraźne różnice między nimi.

W związku z powyższym, w środowisku MATLAB (The MathWorkd, Inc, Natick, |MA, USA) przeprowadzono bardziej szczegółowe analizy statystyczne, a mianowicie jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA), której rezultaty zamieszczono w tabelach 7-10.

Zestawienie wyników badań trwałościowych pokazano natomiast na rysunku 14. Przy czym tym razem posłużono się powszechnie używanym wskaźnikiem VB_{max}, czyli zużyciem na powierzchni przyłożenia. Jako kryterium stępienia przyjęto wartość VB_{max} 0,2 mm, a liczba otworów została przeliczona na drogę skrawania, jaką wykonały ostrza podczas obróbki w materiale.



Rysunek 13. Procedura wyznaczania wskaźnika zużycia W (zużycie na pow. zewnętrznego narożnika)



Rysunek 14. Zestawienie wyników badań trwałościowych

Tabela 7. Jednoczynnikowa analiza wariancji (narzędzie referencyjne *vs.* powlekane powłoką TiN/AlTiN) dla okresu trwałości narzędzi 0-800 otworów

Source	*Sum Sq.*	*d.f.*	*Mean Sq.*	*F*	*Prob > F*
Group A ver. B	0,01524	1	0,01524	12,25	0,0006
Error	0,21655	174	0,00124	-	-
Total	0,23179	175	-	-	-

Tabela 8. Jednoczynnikowa analiza wariancji (narzędzie referencyjne *vs.* powlekane powłoką TiAlN/aCN) dla okresu trwałości narzędzi 0-800 otworów

Source	*Sum Sq.*	*d.f.*	*Mean Sq.*	*F*	*Prob > F*
Group A ver. C	0,00751	1	0,00751	4,89	0,0284
Error	0,26753	174	0,00154	-	-
Total	0,27505	175	-	-	-

Z danych zawartych w tabelach 7 i 8 wynika, że zarówno powłoka TiN/AlTiN, jak i TiAlN/aCN po wykonaniu 800 otworów wykazały istotny statystycznie wzrost trwałości narzędzia (odpowiednio: p-value = 00006 < 0,05 i p-value = 0,0284 < 0,05).

Tabela 9. Jednoczynnikowa analiza wariancji (narzędzie referencyjne *vs.* powlekane powłoką AlTiN/TiN) dla całego okresu eksploatacji narzędzia

Source	*Sum Sq.*	*d.f.*	*Mean Sq.*	*F*	*Prob > F*
Group A ver. B	0,00785	1	0,00785	9,48	0,0031
Error	0,05138	62	0,00083	-	-
Total	0,05924	63	-	-	-

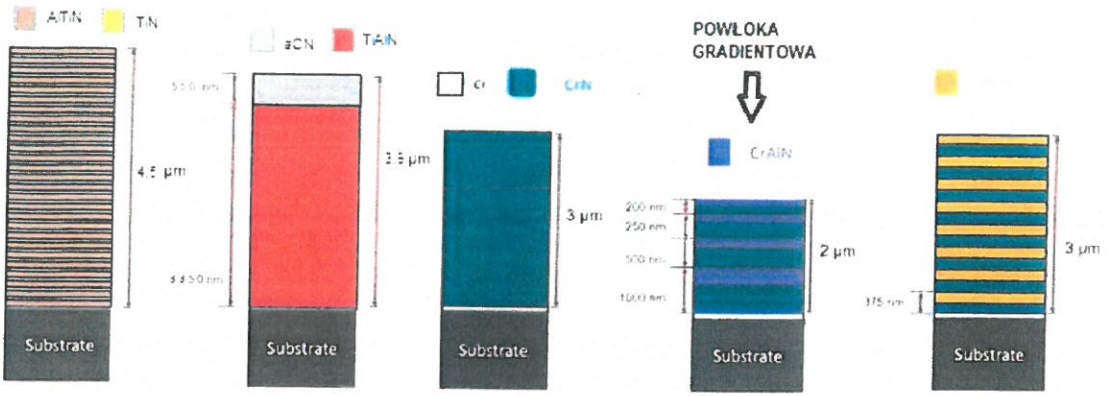
Tabela 10. Jednoczynnikowa analiza wariancji (narzędzie referencyjne *vs.* powlekane powłoką TiAlN/aCN) dla całego okresu eksploatacji narzędzia

Source	*Sum Sq.*	*d.f.*	*Mean Sq.*	*F*	*Prob > F*
Group A ver. C	0,00081	1	0,00081	0,72	0,4002
Error	0,06957	62	0,00112	-	-
Total	0,07037	63	-	-	-

Niestety wyniki analizy statystycznej ANOVA zawarte w tabelach 9 i 10, obejmujących pełny cykl tępienia, czyli do momentu, kiedy zostało przekroczone kryterium stępienia pokazują, że użyteczna w przemyśle drzewnym może być powłoka TiN/AlTiN (p-value = 0,0031 < 0,05). Dwuwarstwowa powłoka TiAlN/aCN nie spełniła oczekiwań dotyczących wydłużenia okresu trwałości (p-value = 0,4002 > 0,05). Zjawisko to wskazuje na fakt, że w niektórych sytuacjach pozytywny wpływ cienkiej warstwy węgla amorficznego aCN na trwałość narzędzia zanika. W przypadku procesu wiercenia nie występują tak duże obciążenia dynamiczne w porównaniu do obróbki frezowaniem z uwagi na mniejsze prędkości skrawania i inną geometrię ostrza skrawającego. Mała grubość warstwy węgla amorficznego na poziomie ok 600 nm i jej niska twardość nie sprzyjają natomiast poprawie własności użytkowych. Stąd można przyjąć, że tego typu powłoka ma ograniczone zastosowanie w obróbce materiałów drewnopochodnych. W omawianej publikacji potwierdzone zostały wcześniejsze rezultaty badań świadczące o dużej przydatności nanopowłoki typu TiN/AlTiN odznaczającej się wielowarstwową nanostrukturą.

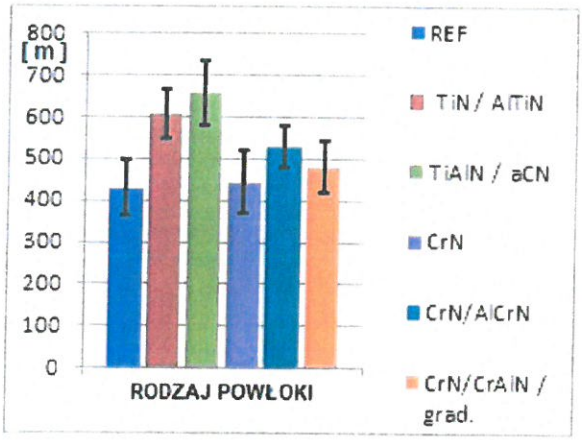
A5. P. Czarniak, B. Kucharska, K. Szymanowski, C. Nouveau, P. Panjan, K. Kulikowski, A. Roguska, M. Gloeh, J. Sobiecki (2023). Coatings deposited by physical vapor deposition (PVD) on high-speed steel used in the processing of wood materials, Wood Material Science & Engineering, 1-10. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289023 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

Mając przeanalizowane właściwości użytkowe podstawowych powłok zawierających Al, Ti i C naniesionych na podłoże wykonane z węglika spiekanego WC-Co postanowiłem zweryfikować, czy omawiane wcześniej powłoki narzędziowe naniesione na stal szybkotnącą HSS (60CrMoV18-5) okażą się równie przydatne. Tego rodzaju materiał ma istotne znaczenie w przemyśle drzewnym. Dzięki mniejszemu kątowi ostrza narzędzia tego typu w stosunku do narzędzi opartych na WC-Co pozwalają na uzyskanie lepszej jakości powierzchni drewna i w wielu przypadkach są niezastąpione, dlatego celem badań przedstawionych w omawianej publikacji było określenie właściwości i trwałości wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN oraz podwójnej powłoki TiN/aCN, którymi pokryto noże wykonane z powyższej stali. Badania rozszerzono o trzy inne rodzaje powłok opartych na związkach chromu, tj. wielowarstwowe powłoki CrN/CrAlN, CrN/AlCrN oraz pojedynczą powłokę CrN. Mikrostrukturę (planowaną) wszystkich powłok pokazano na rysunku 15.

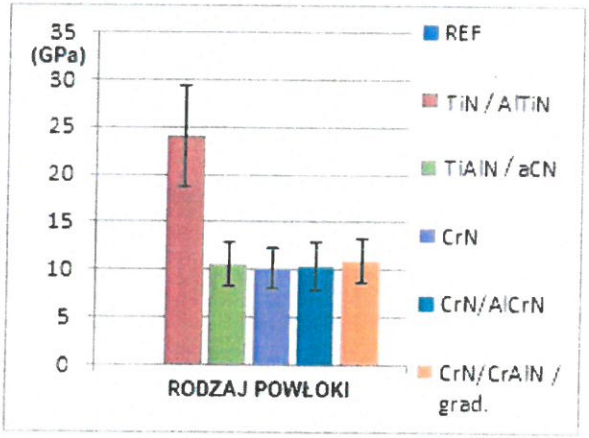


Rysunek 15. Mikrostruktura powłok naniesionych na stal szybkotnącą HSS

Powłoka CrN/CrAlN jest powłoką należącą do grupy powłok tzw. gradientowych, gdzie grubość poszczególnych podwarstw jest zróżnicowana na przekroju poprzecznym. Ze względu na porównawczy charakter badań jako materiał obrabiany przyjęto płytę MDF, która charakteryzuje się jednorodną strukturą. Grubość powłok była zróżnicowana, gdyż w przypadku związków Al i Ti wynosiła ok. 4 µm, a w przypadku Cr ok. 1,5 µm. Powłoki poddano wszechstronnym badaniom składu chemicznego i mikrostruktury z użyciem (SEM), (EDS) i (XPS). Poza tym przeprowadzono testy trwałościowe (rys. 16), testy zarysowań oraz analizę nanotwardości, których wyniki przedstawiono na rysunku 17.



Rysunek 16. Wyniki testów trwałościowych



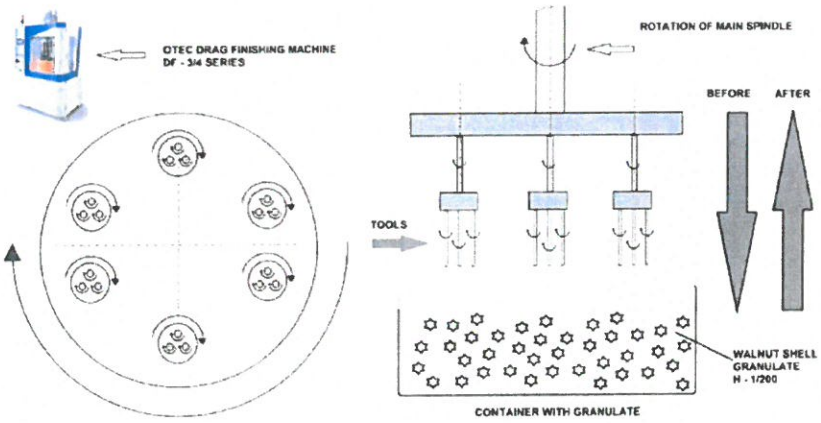
Rysunek 17. Wyniki badań nanotwardości

Na uwagę ponownie zasługuje nanopowłoka wielowarstwowa TiN/AlTiN, której nanotwardość jest wyraźnie większa niż w przypadku pozostałych. Powłoka zawierająca węgiel amorficzny, czyli TiAlN/aCN, również wykazała się dużą trwałością mimo przeszło dwa razy mniejszej nanotwardości w stosunku do powłoki TiN/AlTiN. Tak więc powłoki zawierające Ti i Al okazały się znacznie bardziej trwałe niż te oparte na związkach Cr. Przyczyn tego stanu rzeczy należy upatrywać m.in. w ich małej grubości, znacznie odbiegającej od wartości zaplanowanych podczas procesu nakładania. Testy zarysowań pokazały, że zmniejszenie grubości powłoki z Cr przyniosło wzrost wartości siły Lc2 oznaczającej poprawę jej adhezji do podłoża, ale nie przełożył się on niestety na wydłużenie trwałości narzędzia. Powłoka

zawierająca cienką warstwę węgla amorficznego w stosunku do wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN, prawdopodobnie z uwagi na mniejszy współczynnik tarcia związany z jego obecnością, wykazała lepszą przyczepność we wspomnianym teście. Dalsze prace, szczególnie te dotyczące powłok gradientowych, powinny doprowadzić także do udoskonalenia procesu wytrawiania podłoża przed procesem nanoszenia poprzez dobór odpowiedniego przepływu mieszanki gazowej, przyłożonego napięcia i ciśnienia gazu w komorze.

A6. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Górski, D. Jarosiewicz (2023). Effect of the drag-finishing of cutting blades made of sintered carbides on tool life in particleboard machining, Wood Material Science & Engineering, 1-7. DOI: 10.1080/17480272.2023.2289042 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100).

Mając przeanalizowane podstawowe rodzaje dostępnych powłok narzędziowych możliwych do zastosowania w przemyśle drzewnym, podjąłem się przeprowadzenia badań, dzięki którym możliwa by była dalsza poprawa ich właściwości użytkowych. Z przeglądu literatury wynikało, że jednym z kluczowych zagadnień związanych z tą technologią jest odpowiednie wstępne przygotowanie narzędzia. Przy czym nie chodzi tu o standardowo realizowany proces jego wytrawiania czy azotowania, lecz takie ukształtowanie mikrogeometrii ostrza, które zapobiegałoby utracie ciągłości przez powłokę w miejscu styku powierzchni przyłożenia i natarcia. Można to osiągnąć przez omówioną wcześniej tzw. mikroobróbkę ścierną. W omawianej publikacji zastosowano jedną z nich, a mianowicie drag finishing. Schemat tego typu obróbki przedstawiono na rysunku 18.



Rysunek 18. Schemat obróbki mikrościernej metodą drag finishing

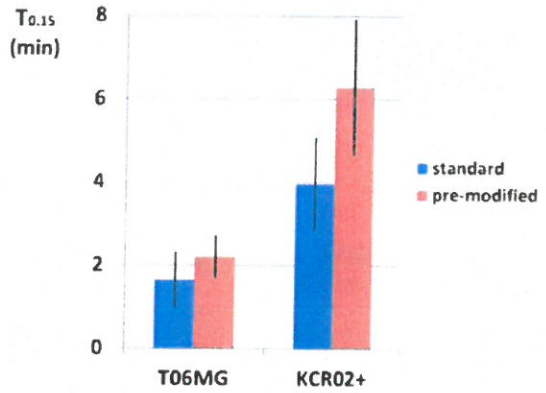
Celem badań było określenie, czy uzyskane w ten sposób zwiększenie promienia zaokrąglenia, szeroko opisywane w literaturze jak zabieg zmniejszający niepożądane naprężenia wewnętrzne w powłoce, pociągnie za sobą wzrost trwałości narzędzia. Zapobieganie zjawisku wykruszeń poprzez ograniczenie poziomu naprężeń ma znaczenie szczególnie w 1. fazie eksploatacji, czyli na etapie docierania. W testach zastosowano dwa rodzaje węglika WC-Co, których właściwości podano w tabeli 11.

Tabela 11. Podstawowe właściwości mechaniczne oraz zawartość spoiwa węglików spiekanych WC-Co użytych w badaniach

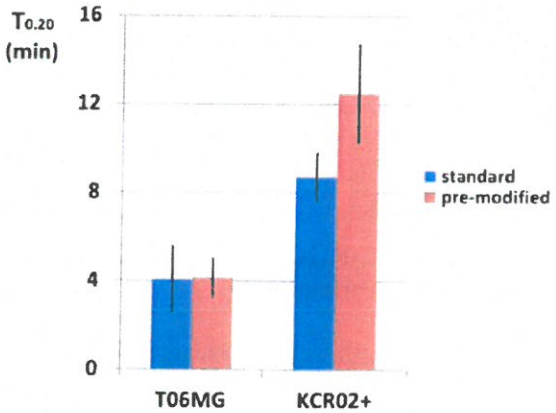
Producent		TIGRA	CERATIZIT
Kod producenta		T06MG	KCR02+
Zawartość kobaltu (%)		6	2
Twardość	HV 10	1800	2240
	HRA	93,3	95
Odporność na kruche pękanie K_{IC} (MPa·m$^{1/2}$)		8,4	7,5
Wytrzymałość na zginanie (MPa)		2700	2500

Wyniki badań wskazują na znaczne i istotne statystycznie zwiększenie trwałości analizowanych narzędzi. Przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA) wskazującą, że oba czynniki, czyli zarówno rodzaj podłoża, jak i jego modyfikacja, mają istotny statystycznie wpływ. Z uwagi na zróżnicowane tempo zużywania się ostrzy podczas całego okresu eksploatacji uwzględniono w analizie dwa przedziały zużycia i dla każdego z nich zastosowano test statystyczny T-studenta.

Dane pokazane na rysunkach 19 i 20 pokazują, że istotne statystycznie zmiany zachodzą jedynie w przypadku ostrzy o strukturze ultra-fine-nano, czyli ostrzy o najmniejszej wielkości ziaren WC i jednocześnie największej mikrotwardości (HV10 – 2240). W przypadku gatunku węglika WC-Co o większych ziarnach, czyli mikro (HV10 – 1800), nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic między narzędziem poddanym modyfikacji a standardowym.



Rysunek 19. Wpływ rodzaju węglika spiekanego i wstępnej modyfikacji (z użyciem metody drag finishing) na okres eksploatacji wyrażony w min, zakładając, że dopuszczalny poziom zużycia określony standardowym wskaźnikiem VB_{max} nie przekroczy 0,15 mm

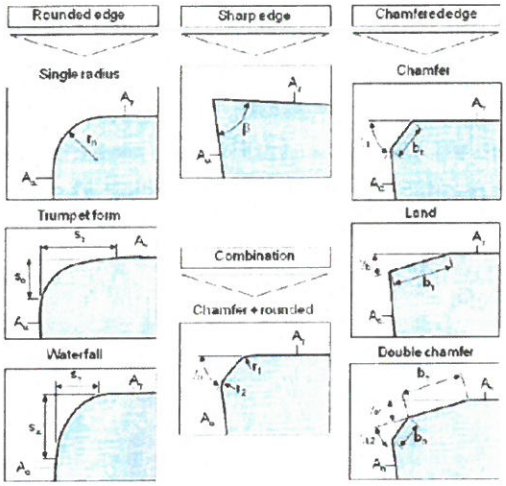


Rysunek 20. Wpływ rodzaju węglika spiekanego i wstępnej modyfikacji (z użyciem metody drag finishing) na okres eksploatacji wyrażony w min, zakładając, że dopuszczalny poziom zużycia określony standardowym wskaźnikiem VB_{max} nie przekroczy 0,20 mm

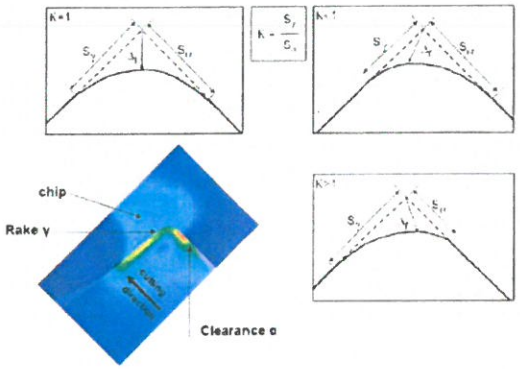
Badania dowiodły, że wstępna obróbka mikrościerna powinna poprawić właściwości użytkowe ostrzy powlekanych powłokami narzędziowymi w obróbce materiałów drewnopochodnych, ale tylko w przypadku podłoży o dużej twardości.

A7. P. Czarniak, K. Szymanowski, J. Bucki, D. Jarosiewicz (2023). Micro geometry analysis of WC-Co carbide blades modified with PVD coating subjected to blunting during milling in chipboard, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 398-407. DOI: 10.1080/17480272.2023.2251026 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100)

W związku z wynikami przedstawionymi w publikacji **A6**, pokazującymi, że mikroobróbka ścierna zmienia niektóre z parametrów geometrycznych opisujących ostrze skrawające, postanowiłem bardziej szczegółowo przeanalizować sposób, w jaki można precyzyjnie opisać mikrogeometrię narzędzia. Zagadnienie to było przedmiotem wielu opracowań, jednak uznałem, że metodyka pozwalająca na opis mikrogeometrii krawędzi skrawającej wymaga bardziej szczegółowej analizy obejmującej wyznaczenie zależności statystycznych pomiędzy różnymi parametrami geometrycznymi. Problemy z uzyskaniem jej jednoznacznego i precyzyjnego opisu wynikają m.in. z różnorodności kształtów, jakie może przybierać ostrze, co pokazano na rysunku 21. Z kolei na rysunku 22 zobrazowano i wyjaśniono pojęcie współczynnika asymetrii zaokrąglenia K opartego w tym przypadku na wielkości zużycia od strony powierzchni natarcia i przyłożenia. Ponadto dołączono obraz pokazujący rozkład naprężeń na krawędzi skrawającej, który jest ściśle powiązany z kształtem zaokrąglenia.



Rysunek 21. Klasyfikacja kształtów zaokrąglenia ostrza skrawającego [Rodriguez 2009]



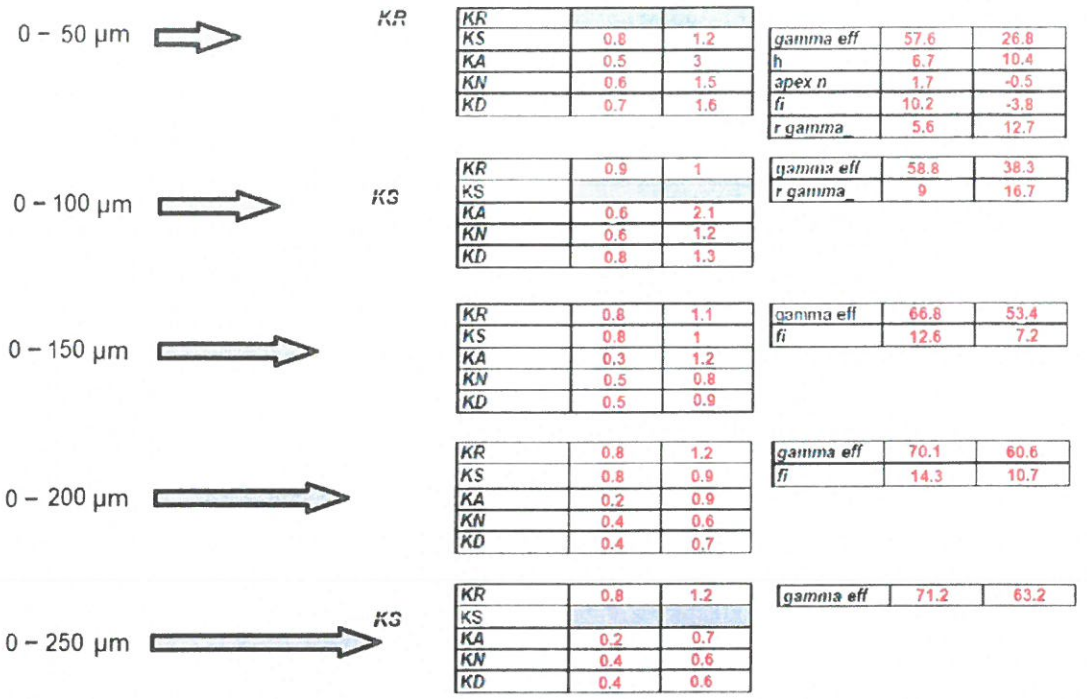
Rysunek 22. Graficzna interpretacja współczynnika asymetrii zaokrąglenia K [Cselle 2007]

W publikacji przeanalizowano mikrogeometrię ostrzy wykonanych z węglika spiekanego WC-Co, na które naniesiono powłokę narzędziową opartą na Al i Ti, a następnie poddano tępieniu. Po zakończonym procesie tępienia, na podstawie przekrojów krawędzi skrawającej uzyskanych z profilometru stykowego oraz ich obróbce przeprowadzonej w środowisku AutoCad, wyznaczono wartości wielu wskaźników zużycia oraz tzw. współczynników asymetrii K. Oprócz powszechnie stosowanego współczynnika asymetrii KS pokazanego na rysunku 22 wyznaczono wartości wielu innych, takich jak KN, KA czy KD opisanych w metodyce pracy. Biorą one pod uwagę m.in. przesunięcie punktu n, w którym płaszczyzna przyłożenia przechodzi w płaszczyznę natarcia (KN). Inny z nich, czyli KA wykorzystuje wielkość pola powierzchni określonych obszarów. Ponadto pod uwagę wzięto parametry geometryczne uwzględniające położenie ostrza skrawającego podczas obróbki, tj. przy zachowaniu kąta skrawania δ (suma kątów przyłożenia i ostrza) ustalonego na podstawie dokumentacji technicznej dotyczącej użytej głowicy. Na tej podstawie uzyskano informacje o takich parametrach jak ujemny kąt natarcia γ_{eff} czy minimalna grubość wióra h_n. Dzięki procedurze opracowanej w Visual Basic otrzymano zależności statystyczne pomiędzy

poszczególnymi wskaźnikami zużycia oraz innymi parametrami geometrycznymi charakteryzującymi ostrze a współczynnikami asymetrii K. Opracowane w środowisku Visual Basic skrypty pozwoliły na przeprowadzenie wieloczynnikowej analizy regresji liniowej. W związku z faktem, że niektóre z analizowanych zmiennych są zależne od siebie, dodatkowo wyznaczono wartość tzw. współczynnika VIF (*Variation Inflation Factor*). Dzięki temu wyeliminowano niepożądane współzależności między poszczególnymi zmiennymi wyjaśniającymi występującymi w uzyskanych modelach matematycznych. Współczynniki determinacji R^2 odnoszące się do korelacji między współczynnikami asymetrii K a typowymi wskaźnikami zużycia takimi jak S_α okazały się niezadowalające i wahały się w przedziale 0,5-0,7. W niektórych przypadkach niewielkie obniżenie akceptowalnego progu wartości współczynnika determinacji R^2 pozwoliło na wyznaczenie zależności między niektórymi parametrami geometrycznymi a wskaźnikami zużycia przy zastosowaniu w modelu tylko jednej zmiennej wyjaśniającej. Dotyczy to m.in. współzależności między R_γ i h ($R^2 = 0,89$), S_α i h_n ($R^2 = 0,94$), R_α i L_α ($R^2 = 0,95$) czy S_α i γ_{eff} ($R^2 = 0,79$). Przy czym należy zauważyć, iż S_α, R_α czy R_γ są powszechnie używanymi wskaźnikami zużycia wyznaczanymi podczas pomiarów warsztatowych na mikroskopie warsztatowym, gdzie symbol R oznacza cofnięcie krawędzi a S jej zużycie (starcie + cofnięcie) od strony powierzchni przyłożenia (α) lub natarcia (γ) ostrza.

A8. P. Czarniak, K. Szymanowski, P. Panjan, D. Jarosiewicz (2023). Influence of WC-Co knifes pre-treatment with drag finishing method subjected to tool coatings deposition on blunting process, Wood Material Science & Engineering, 19(2), 391-397. DOI: 10.1080/17480272.2023.2248471 (IF: 2,2/Pkt. MNiSW: 100)

Wykorzystując metodykę dotyczącą wyznaczania parametrów opisujących mikrogeometrię zaokrąglenia opracowaną i opisaną w publikacji **A7**, porównałem mikrogeometrię ostrzy powlekanych nanopowłoką wielowarstwową TiN/AlTiN uprzednio poddanych procesowi drag finishing oraz niepoddanych żadnym wstępnym zabiegom mikroobróbki ściernej. Analiza mikrogeometrii ostrza dotyczyła narzędzi, które wcześniej poddane były testom eksploatacyjnym na przemysłowej obrabiarce CNC. Celem pracy było wyjaśnienie przyczyn zwiększonej trwałości narzędzi poddanych tego typu modyfikacji. Jak wynika z przeprowadzonego testu T-studenta dla dwóch niezależnych grup, wstępna mikroobróbka ścierna spowodowała wiele istotnych statystycznie zmian w tym zakresie, co przedstawiono na rysunku 23.



Rysunek 23. Podsumowanie istotnych statystycznie zmian współczynników asymetrii zaokrąglenia K i innych parametrów geometrycznych spowodowanych wstępną mikroobróbką ścierną przed nałożeniem nanopowłoki wielowarstwowej TiN/AlTiN

Zaobserwowano, że wpływa ona w istotny statystycznie sposób na wartość większości uwzględnionych w pracy współczynników asymetrii zaokrąglenia K i to praktycznie we wszystkich analizowanych przedziałach zużycia określanych wartością S_α (0-50 µm, 0-100 µm, 0-150 µm, 0-200 µm, 0-250 µm). Szczególnie dotyczy to takich współczynników jak *KA*, *KN* i *KD*. Wspomniany wskaźnik S_α to wielkość zużycia określana na podstawie analizy konturu ostrza uzyskanego przy zastosowaniu profilometru stykowego. Wartość ta odpowiada stosowanemu powszechnie wskaźnikowi zużycia $VB_{\max}$, który jest wyznaczany na mikroskopie warsztatowym. Różnice między nimi wynikają z faktu, że podczas pomiaru na mikroskopie warsztatowym określenie, w którym miejscu znajduje się granica między fragmentem ostrza, gdzie pojawiły się ubytki materiału narzędziowego a takim, które można uznać za nienaruszone jest subiektywne i oparte na wizualnej ocenie obserwatora. Z kolei geometryczna analiza konturu uzyskanego na podstawie danych z profilometru stykowego dostarcza jednoznacznych informacji, w którym punkcie znajduje się początek zaokrąglenia i tym samym strefa, w której pojawił się ubytek materiału. Z uwagi na porównawczy charakter przeprowadzonych analiz nie ma to jednak znaczenia. Dla każdego z analizowanych przedziałów S_α zaobserwowano przesunięcie punktu n, w którym płaszczyzna natarcia przechodzi w płaszczyznę przyłożenia i odwrotnie, o czym świadczą zmiany współczynnika asymetrii zaokrąglenia *KN*.

Analiza zmian m.in. współczynnika asymetrii *KS* (stosunek zużycia ostrza od strony natarcia do zużycia ostrza od strony przyłożenia, czyli S_γ/S_α) w przedziale S_α 0-150 µm i 0-200 µm wskazuje na to, że tzw. mikrościerna modyfikacja mikrogeometrii przeprowadzona za

pomocąy metody drag finishing wiąże się z bardziej intensywnym zużywaniem krawędzi skrawającej od strony powierzchni natarcia. W rezultacie zmniejszyło się zużycie narzędzia wyznaczane za pomocą standardowych wskaźników takich jak wspomniane wcześniej S_a określanych na podstawie powierzchni przyłożenia. Warto także odnotować istotne statystycznie różnice w wartości ujemnego kąta natarcia γ_{eff} wpływającego niekorzystnie na proces skrawania dla wszystkich analizowanych przedziałów zużycia.

4.6 PODSUMOWANIE

Cykl powyższych artykułów zgłoszonych jako prace dokumentujące osiągnięcie naukowe stanowiące istotny wkład w rozwój dyscypliny nauki leśne (drzewnictwo) ukazał się w latach 2020-2023, czyli po uzyskaniu stopnia doktora (co miało miejsce w 2010 roku). Wszystkie ww. prace są efektem interdyscyplinarnej współpracy z ośrodkami naukowymi zarówno krajowymi, jak i zagranicznymi specjalizującymi się w inżynierii materiałowej.

Tego rodzaju interdyscyplinarność badań była oczywiście merytorycznie uzasadniona, a nawet konieczna, ale miała ona służyć jedynie dokonaniu postępu naukowo-technicznego w zakresie drzewnictwa. Chodziło o przeanalizowanie współczesnych możliwości zwiększania odporności na zużycie narzędzi do obróbki drewna i materiałów drewnopochodnych za pomocą nanoszenia wybranych powłok PVD. W związku z tym moje osiągnięcie naukowe zawarte w cyklu publikacji przedstawionych powyżej mieści się w następujących obszarach badawczych:

- Eksperymentalne określenie trwałości wybranych narzędzi skrawających przeznaczonych do obróbki płyt drewnopochodnych (w badaniach wykorzystywano m.in. niekonwencjonalne ostrza pokryte zarówno standardowymi powłokami narzędziowymi zawierającymi związki Al, Ti oraz Cr, jak i powłokami gradientowymi).
- Monitorowanie i analiza mikrogeometrii wybranych rodzajów ostrzy skrawających poddanych uprzednio procesowi tępienia podczas obróbki płyt drewnopochodnych (skoncentrowano się głównie na zagadnieniu asymetrii zaokrąglenia krawędzi tnącej).
- Analiza wpływu wstępnej modyfikacji mikrogeometrii ostrzy (dokonywanej za pomocą mikroobróbki ściernej) na trwałość wybranych narzędzi skrawających podczas frezowania płyt drewnopochodnych (w badaniach eksperymentalnych wykorzystywano m.in. niekonwencjonalne ostrza pokryte wielowarstwową nanopowłoką TiN/AlTiN).

Na podstawie przedstawionych powyżej prac stwierdziłem, że:

- Cienka warstwa węgla amorficznego a-CN nałożona na powłokę typu TiAlN w istotny sposób poprawia jej trwałość. Natomiast pojedyncza powłoka TiAlN, z uwagi na niską odporność na kruche pękanie, nie znajduje zastosowania w przypadku obróbki materiałów drewnopochodnych. Zaobserwowano korzystne zjawisko polegające na wcieraniu węgla amorficznego w podłoże bez oznak oderwania się powłoki od powierzchni ostrza.
- Wykazano wyższość nanopowłok wielowarstwowych takich jak TiN/AlTiN w stosunku do pozostałych analizowanych podczas badań. Przy czym wysoki poziom nanotwardości

nie oznacza, że dana powłoka wykaże się dużą trwałością podczas eksploatacji narzędzia. Duża odporność na zarysowania, która świadczy o jej dobrej przyczepności, również nie gwarantuje uzyskania dobrych właściwości użytkowych, jak to miało miejsce w przypadku pojedynczej powłoki TiN.

- Za optymalną grubość powłok przeznaczonych do obróbki materiałów drewnopochodnych uznano grubość ok. 5 μm. Zmniejszenie grubości do ok. 2 μm wprawdzie zwiększa jej przyczepność, ale jednocześnie niestety obniża jej trwałość.
- Powłoka zawierająca amorficzny C naniesiony na twarde podłoże w postaci podpowłoki TiAlN nie do końca sprawdziła się w testach trwałościowych **(WC-Co KCR02+)** dotyczących obróbki frezowaniem, co powoduje, że jej zastosowanie w obróbce materiałów drewnopochodnych jest ograniczone.
- Skuteczność dwuwarstwowej powłoki TiAlN/aCN w przypadku wierteł do otworów przelotowych wykonanych z węglika spiekanego WC-Co (K05) po przekroczeniu okresu tzw. docierania narzędzia okazała się niewystarczająca. Potwierdziły się natomiast zadowalające wyniki testów trwałościowych dotyczących wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN.
- Potwierdzono skuteczność dwuwarstwowej powłoki TiAlN/aCN oraz wielowarstwowej nanopowloki TiN/AlTiN w odniesieniu do stali szybkotnącej HSS. Badania wykazały kluczowe znaczenie metodyki przygotowania powierzchni ostrza i procesu nakładania, o czym świadczą niezadowalające rezultaty badań dla powłok opartych na Cr.
- W przyszłości należy dopracować metodykę nakładania powłok gradientowych przeznaczonych do obróbki materiałów drewnopochodnych, które powinny być dalej udoskonalane i rozwijane.
- Testy narzędzi poddanych mikroobróbce ściernej wykazały, że przynosi ona pozytywne efekty jedynie w przypadku twardego podłoża **(WC-Co KCR02+)**, którego odporność na zjawisko kruchego pękania jest niska. Zwiększenie promienia zaokrąglenia ostrza zmniejsza ryzyko pojawiania się wyszczypów, szczególnie na wstępnym etapie eksploatacji narzędzia, czyli docierania.
- Zastosowanie powierzchniowej obróbki mikrościernej zmienia mikrogeometrię ostrza, co pociąga za sobą konieczność przyjęcia odpowiedniej procedury opisującej precyzyjnie kształt zaokrąglenia krawędzi tnącej. W szczególności zmiany asymetrii zaokrąglenia i innych parametrów związanych ze zmienionymi warunkami pracy powinny być przedmiotem dalszych badań.
- Wstępna obróbka mikrościerna zastosowana przed procesem nanoszenia powłoki przyczynia się do istotnego wzrostu trwałości narzędzia. Optymalizacja kształtu zaokrąglenia, a szczególnie dobór odpowiednich wartości współczynników asymetrii K, może przyczynić się do znacznego zwiększenia atrakcyjności technologii powłok narzędziowych.

4.7 PERSPEKTYWY BADAWCZE

Chciałbym także wspomnieć o badaniach, które jeszcze nie zostały zakończone:

- Badania wpływu powłoki gradientowej AlCrN/CrN na trwałość narzędzi wykonanych z WC-Co – manuskrypt w trakcie przygotowywania.
- Wpływ powłok zawierających Niob i Hafn na trwałość narzędzi do obróbki materiałów drewnopochodnych.
- Diagnostyka procesu skrawania ostrzami ze stali HSS pokrytymi powłoką zawierającą Al oraz Ti, obejmująca pomiar trwałości narzędzi, oporów skrawania, drgań i hałasu podczas frezowania w płycie MDF.
- Wpływ obecności wielowarstwowej nanopowłoki TiN/AlTiN na mikrogeometrię ostrza wykonanego z HSS przeznaczonego do frezowania materiałów drzewnych – manuskrypt w trakcie recenzji.
- Wpływ obróbki narzędzi powlekanych powłoką TiAlN/aCN z użyciem metody mokrego mikropiaskowania na ich trwałość – manuskrypt w trakcie przygotowywania.
- Wpływ obróbki narzędzi powlekanych powłokami zawierającymi Al i Ti z użyciem metody suchego mikropiaskowania na ich trwałość.

Wyżej wymienione badania są w znacznym stadium zaawansowania i ich wyniki zostaną opublikowane w kolejnych latach.

BIBLIOGRAFIA

1. **Arun J. (2015).** Effect of Micro-blasting on Characteristics and Machining Performance of PVD AlTiN Coated Cutting Tools. A dissertation submitted to the department of mechanical engineering. National Institute of Technology Rourkela (India).
2. **Baragetti S., Gelfi M., La Vecchia G.M., Lecis N. (2005).** Fatigue resistance of CrN thin films deposited by arc evaporation process on H11 tool steel and 2205 duplex stainless steel, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 28, 615-621.
3. **Biermann D., Baschin A. (2009).** Influence of cutting edge geometry and cutting edge radius on the stability of micromilling processes. Production Engineering – Research and Development, 3, 375-380. DOI: 10.1007/s11740-009-0188-7.
4. **Biermann D., Wolf M., Aßmuth R. (2012).** Cutting edge preparation to enhance the performance of single lip deep hole drills. 5th CIRP conference on high performance cutting. Procedia CIRP, 1, 172-177.
5. **Bouzakis K.D., Vidakis V., Kallinikidis D., Leyendecker T., Erkens G., Wenke R., Fuss H.G. (1998).** Fatigue failure mechanisms of multi- and monolayer physically vapor-deposited coatings in interrupted cutting processes. Surface and Coatings Technology, 108-109, 526-534. DOI: 10.1016/S0257-8972(98)00636-7.
6. **Bouzakis K.D., Michailidis N., Efstathiou K., Vidakis N., Leyendecker T., Erkens G., Wenke R., Fuss H.G. (2002).** Optimization of the cutting edge radius of PVD

coated inserts in milling considering film fatigue failure mechanisms. CIRP Annals, 51(1), 61-64. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61466-8.

7. **Bouzakis K.D., Skordaris G., Mirisidis I., Mesomeris G., Michailidis N., Asimakopoulos A., Erkens G. (2005).** Effect on PVD coated cemented carbide inserts cutting performance of micro-blasting and lapping of their substrates. Surface & Coatings Technology, 200, 128-132.
8. **Bouzakis K.D., Gerardis S., Katirtzoglou G., Makrimallakis S., Bouzakis A., Cremer R., Fuss H.G. (2009).** Application in milling of coated tools with rounded cutting edges after the film deposition. CIRP Annals, 58(1), 61-64. DOI: 10.1016/j.cirp.2009.03.103
9. **Bouzakis K.D., Klocke F., Skordaris G., Bouzakis E., Gerardis S., Katirtzoglou G., Makrimallakis S. (2011a).** Influence of dry micro-blasting grain quality on wear behavior of TiAlN coated tools. Wear, 271(5-6), 783-791.
10. **Bouzakis K.D., Tsouknidas A., Skordaris G., Bouzakis E., Makrimallakis S., Gerardis S., Katirtzoglou G. (2011b).** Optimization of Wet or Dry Microblasting on PVD Films by Various Al_2O_3 Grain Sizes for Improving the Coated Tools' Cutting Performance. Tribology in Industry, 33(2), 49-56.
11. **Bouzakis K.D., Tsouknidas A., Skordaris G., Bouzakis E., Makrimallakis S., Gerardis S., Katirtzoglou G. (2011b).** Optimization of Wet or Dry Microblasting on PVD Films by Various Al_2O_3 Grain Sizes for Improving the Coated Tools' Cutting Performance. Tribology in Industry, 33(2), 49-56.
12. **Bouzakis K.D., Bouzakis E., Kombogiannis S., Makrimallakis S., Skordaris G., Michailidis N., Charalampous P., Paraskevopoulou R., Saoubi R.M., Aurich J.C., Barthelma F., Biermann D., Denkena B., Dmitrov D., Engin S., Karpuschewski B., Klocke F., Ozel T., Poulachon G., Rech J., Schulze V., Settineri L., Srivastava A., Wegener K., Uhlmann E., Zeman P. (2014).** Effect of cutting edge preparation of coasted tools on their performance in milling various materials. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 7, 264-273.
13. **Cselle T. (2007).** Influence of edge preparation on the performance of coated cutting tools invited talk of international conference on metallurgical coatings and thin films San Diego, 2nd of May.
14. **Denkena B., Kohler J., Rehe M. (2010).** Einsatz hochharter Schneidstoffe beim schleifen. Wissenschaft & Forschung. Produktionstechnisches Zentrum der Leibniz Universität Hannover.
15. **Denkena B., Koehler J., Rehe M. (2012).** Influence of the Honed Cutting Edge on Tool Wear and Surface Integrity in Slot Milling of 42CrMo4 Steel. 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, 190-195.
16. **Dobrzański L.A., Dobrzańska-Danikiewicz A.D. (2011).** Obróbka powierzchni materiałów inżynierskich. Open Access Library, 5, 110-113.
17. **Fulemová J., Řehoř J. (2015).** Influence of Form Factor of the Cutting Edge on Tool Life during Finishing. Procedia Engineering, 100, 682-688.

18. **Gelfi M., La Vecchia G.M., Lecis N., Troglio S. (2005).** Relationship between through-thickness residual stress of CrN-PVD coatings and fatigue nucleation sites', Surface and Coatings Technology, 192, 263-268.
19. **Lv D., Wang Y., Yu X., Chen H., Gao Y. (2022).** Analysis of abrasives on cutting edge preparation by drag finishing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 119, 3583-3594. DOI: 10.21203/rs.3.rs-669967/v1
20. **Montesano L., Pola A., Gelfi M., La Vecchia G.M. (2013).** Effect of microblasting on cathodic arc evaporation CrN coatings. Surface Engineering, 29(9), 683-688. DOI: 10.1179/1743294413Y.0000000193.
21. **Montesano L., Pola A., Gelfi M., Brisotto M., Depero L.E., La Vecchia G. (2016).** Investigation on Microblasting Applied to CrN Coatings. Advances in Materials Science and Engineering Volume 2016, Article ID 9082851. DOI: 10.1155/2016/9082851.
22. **Nouveau C., Labid C., Collet R., Benlatreche Y., Djouadi M.A. (2009).** Effect of surface finishing such as sand-blasting and CrAlN hard coatings on th cuttings edge peelings tool wear resistance. Wear, 267(5-8), 1062-1067. DOI: 10.1016/j.wear.2009.01.045.
23. **Pätoprstý B., Pokorný P., Vozár M,. Vopát T., Buranský I. (2019).** The Influence of Grinding Process and Drag Finishing on the Milling Tools Macro Geometry. Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, 1008-1013. DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.140
24. **Peterka J., Vozár M., Vopát T., Pokorný P., Pätoprstý B. (2018).** Using multi-criteria analysis to evaluate the impact of drag-finishing technological parameters on the carbide tool radius. 2018 2nd International Conference on Nanomaterials and Biomaterials, ICNB 2018,10-12 December 2018, Barcelona, Spain. Materials Today: Proceedings 22, 205-211.
25. **Peterka J., Pokorný P., Vaclav S., Pätoprstý B., Vozár M. (2020).** Modification of cutting tools by drag finishing. MM Science Journal, 3822-3825. DOI 10.17973/MMSJ.2020_03_2019130
26. **Porankiewicz B. (2003).** Tępienie się ostrzy i jakość przedmiotu obrabianego w skrawaniu płyt wiórowych. Rozprawy Naukowe Nr 341, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań.
27. **Rech J., Yen Y.C., Schaff M.J., Hamdi H., Altan Y., Bouzakis K.D. (2006).** Influence of cutting edge radius on the wear resistance of PM-HSS milling inserts. Wear, 259, 1168-1176.
28. **Rodriguez C. (2009).** Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro0abrasive jet machining and brushing. Praca doktorska wykonana pod nadzorem: prof. dr inż. Franz Tikal i prof. dr inż. Jens Hesselbach. Press GmbH, Uniwersytet Kassel. Pobrano z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf (dostęp: 17.06.2024).
29. **Sheikh-Ahmad J., Morita T. (2001).** Tool coatings for wood machining. In: Proc. 15th International Wood Machining Seminar, July 30-August 1, Los Angeles, California, USA.

30. **Sheikh-Ahmad J., Stewart J.S., Feld H. (2003).** Failure characteristics of diamond-coated carbides in machining wood-based composites. Wear, 255, 1433-1437.
31. **Sheikh-Ahmad J., Chipalkati P. (2015).** Effect of Cutting Edge Geometry on Thermal Stresses and Failure of Diamond Coated Tools. Procedia Manufacturing, 1, 2015, 663-674.
32. **Skordaris S., Bouzakis K.D., Charalampous P., Kotsanis T., Bouzakis E., Lemme E. (2016).** Effect of structure and residual stresses of diamond coated cemented carbide tools on the film adhesion and developed wear mechanisms in milling. CIRP Annals, 65(1), 101-104.
33. **Tikal F., Holsten S. (2006).** Neue Anforderungen erfordern neue werkzeuge. VDI-Z, 3, 44-46.
34. **Tikal F., Holsten S. (2008).** May 8. Bedeutung der Kantenverenderung bei Zerspannungwerkzeuge, In-house trade fair 2008 of OTEC Prazizionfinish GmbH.
35. **Torkghashghaei M., Shaffer W., Ugulino B., Georges R., Hernández R.E., Blais C. (2022).** Improvement of the wear resistance of circular saws used in the first transformation of wood through the utilization of variable engineered micro-geometry performed on PVD-coated WC-Co tips. Applied Sciences, 12(23), 12213
36. **Uhlmann E., Oberschmidt D., Kuche Y., Löwenstein A. (2014).** Cutting Edge Preparation of Micro Milling Tools. 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014. Procedia CIRP, 14, 349-354.
37. **Vopát T., Kuruc M., Šimna V., Necpal M., Buranský I., Zaujec R., Peterka J. (2018).** The influence of Cutting Edge Radius Size on the Tool Life of Cemented Carbide Drills. Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, 0421-0425. DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.062.
38. **Wyen C.F., Knapp W., Wegener K. (2011).** A new method for the characterization oroundred cutting edges. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 59(9-12), 800-914.
39. **Zhao T., Zhou J.M., Bushlya V., Stahl J.E. (2017).** Effect of cutting edge radius on surface roughness and tool wear in hard turning of AISI 52100 steel. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 91(9-12), 3611-3618.
40. **Zhou Y., Fang W., Shao L., Dai Y., Wang J., Wang X., Yuan J., Guo W., Lyu B. (2023).** Edge preparation methods for cutting tools: a review. Frontiers of Mechanical Engineering, 18(4): 50. DOI: 10.1007/s11465-023-0766-y.
41. **Zlamal T., Mrkvica I., Szotkowski T., Malotova S. (2019).** The Influence of Surface Treatment of PVD Coating on Its Quality and Wear Resistant. Coatings, 9, 439. DOI: 10.3390/coatings9070439.

5 INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ NA WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY

Przed uzyskaniem stopnia doktora brałem czynny udział w szkoleniach organizowanych w ramach ***COST ACTION E35*** (Fracture Mechanics and Micromechanics of Wood and Wood composites With Regard to wood Machining) i dotyczących obróbki drewna. Szkolenia odbywałem m.in. we Włoszech, w Anglii, Francji, Norwegii i Niemczech.

Po uzyskaniu stopnia doktora moje zainteresowania skupiły się na zagadnieniu związanym z obróbką drewna modyfikowanego termicznie. Ponadto przedmiotem moich badań była skrawalność szeroko rozumianych materiałów drzewnych, takich jak np. WPC (*Wood Plastic Composites*), dlatego aktywnie uczestniczyłem w szkoleniach organizowanych w ramach ***COST ACTION FP0904*** (Thermo-Hydro-Mechanical Wood Behaviour and Processing). Brałem również udział w szkoleniach, które przeprowadzono w ramach ***COST ACTION FP 1101*** (Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures) oraz ***COST ACTION 1006*** (Bringing New Functions to Wood Through Surface Modification).

Pobyty szkoleniowe w ramach powyższych projektów COST ACTION obejmowały następująca tematykę:

- **FP1006**, Grecja „Advances in modified and functional bio-based surfaces" (07.04.2015),
- **FP1101**, Francja „Monitoring of Timber Structures" (23.06.2014),
- **FP1006**, Portugalia „Surface modified laminates" (05.03.2014),
- **FP0904**, Francja „Numerical Implementation of Thermo-Hydro-Mechanical Behavior" (10.02.2014),
- **FP1101**, Belgia „Assessment and reinforcement of timber" (09.12.2013),
- **FP1101**, Grecja „Assessment of historical timber structures, analysis of restoration works: on field experience" (01.10.2013).
- **FP0904**, Francja „Green wood properties modification induced by medium temperatures heat treatment" (29.03.2012).
- **FP0904**, Szwajcaria „THM treatments, practical and theory" (13.02.2011).

Badania naukowe prowadziłem w następujących ośrodkach:

- Miesięczny pobyt (11/12.2014) w ramach ***STSM COST ACTION 1006*** **(Bringing new functions to wood through surface modification)** w Porto w Portugalii w centrum wdrożeniowym ***Lepabe*** (Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy). Badania przeprowadzone pod kierunkiem prof. Luisa Carvalho i prof. Fernao Magalhaes dotyczyły wpływu obróbki termicznej na zwilżalność różnych gatunków drewna.
- Miesięczny pobyt jako gość we Francji na zaproszenie Instytutu Blaise Pascal w Clermont-Ferrand (10.2018). Wstępne badania dotyczące technik plazmowych.

- Dwutygodniowy pobyt szkoleniowy w ramach program Erasmus+ Staff training dotyczący zastosowania plazmy w modyfikacji materiałów lignocelulozowych w Instytucie Blaise Pascal w Clermont-Ferrand, Francja (07.2019).

Uczestniczyłem także jako wykonawca w następujących grantach:

- Grant własny Komitetu Badań Naukowych (KBN) Nr 3 P06L 02524: Podstawy automatycznej diagnostyki stanu narzędzia i procesu skrawania drewna i materiałów drewnopochodnych (2003-2006).
- Grant własny Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N309 007537: Skrawalność materiałów drewnopochodnych (2009-2013).
- Grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: Influence of nitrogen ions implementation on WC-Co composites used in wood based materials machining – W83/HZDR/2017.

Byłem recenzentem następujących artykułów naukowych w czasopismach międzynarodowych:

- Dvoracek O., Lechowicz D., Haas F., Frybort S. (2021). Cutting force analysis of oak for the development of a cutting force model. Wood Materials Science and Engineering. 17(3), 1-12 DOI: 10.1080/17480272.2021.1955296
- Chunmei Yang., Yaqiang Ma, Tongbin Liu., Yucheng Ding., Wenlong Song (2022). Numerical simulation of Hypermesch/Ls-Dyna during sawing of wood and experimental study of surface quality after sawing. Forests.
- Adamcik L., Dzurenda L., Banski A., Kminiak R. (2023). omparison of Surface Roughness of Beech Wood after Sanding with an Eccentric and Belt Sander. Forests, 15(1), 45 DOI: 10.3390/f15010045

Wystąpienia na konferencjach krajowych i międzynarodowych:

- Konferencja naukowa z cyklu: Drewno – materiał XX! wieku „Generacja 4.0 w przemyśle drzewnym i meblarskim" SGGW, 2023.
- Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, 2018.
- Wood – Science – Economy :1st International Scientific Conference: 5-6 October 2015, Poznań.
- Advances in modified and functional bio-based surfaces: proceedings: COST Action FP1006: Bringing new functions to wood through surface modification: 8-9 April, 2015, Thessaloniki, Greece, 2015, Aristotle University.
- Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2014: IX. Medzinárodná vedecká konferencia: zbornik prednášok: 11-13 September 2014, Zvolen = Chip and chipless woodworking processes 2014: the 9th International science conference.

- Chip and chipless woodworking processes 2012: the 8th International Science Conference: proceedings of papers: September 6-8, 2012. Technical University in Zvolen.
- 4th International Science Conference Woodworking Techniques: September 7-10.2011, Prague, Czech Republic, 2011.

W ramach aktywności naukowej będącej podstawą o ubieganie się o nadanie tytułu nawiązano ścisłą współpracę z wiodącymi ośrodkami naukowymi zarówno zagranicznymi, jak i polskimi. W szczególności dotyczy to możliwości przeprowadzenia procesu nakładania powłok z wykorzystaniem urządzeń udostępnionych przez Instytut Josefa Stefana w Ljublianie oraz Instytut- Technologiczny w Cluny we Francji. Ponadto prace badawcze wspomogły jednostki działające w przemyśle, takie jak Fabryka narzędzi FABA SA w Baboszewie, która udostępniła urządzenia do modyfikacji narzędzi skrawających przed nałożeniem powłok (drag finishing) oraz specjalistyczną aparaturę pomiarową pozwalającą na precyzyjne określenie mikrogeometrii ostrza. Zaawansowane analizy dotyczące składu chemicznego i podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych przeprowadzono w ramach ścisłej współpracy z Politechniką Śląską oraz Wydziałem Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. Należy także wspomnieć o Uniwersytecie w Mons (Belgia), z którym opublikowałem jeden z artykułów dotyczących skrawalności materiałów drzewnych.

W ostatnim czasie w pracach badawczych, które zostały przeze mnie zaplanowane, uczestniczyły osoby z Uniwersytetu Masaryka w Brnie (Czechy). Powstały tam dwie prace dyplomowe, w których skupiono się na analizie diagnostycznej zmodyfikowanych pił do obróbki materiałów drzewnych dostarczone przez fabrykę FABA SA.

6 OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH TZN. INNYCH NIŻ TE, KTÓRE WSKAZANO JAKO ZWIĄZANE Z OSIĄGNIĘCIEM NAUKOWYM STANOWIĄCYM PODSTAWĘ UBIEGANIA SIĘ O STOPIEŃ DOKTORA HABILITOWANEGO

Tabela 12. Wykaz prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora

Czasopismo	Rok wydania	Liczba publikacji	Liczba punktów MNiSW	Sumaryczna liczba punktów MNiSW	Impact Factor	Sumaryczny Impact Factor
Czasopisma z listy A						
Wood Research	2013	1	20	20	0,281	0,281
Drewno	2013	1	15	15	0,171	0,171
Bioresources	2015	1	40	40	1,334	1,334
Wood and Fiber Science	2017	1	30	30	0,786	0,786
International Journal of Adhesion and Adhesives	2017	1	35	35	0,276	0,276
Bioresources	2018	1	40	40	1,396	1,396
Wood and Fiber Science	2019	1	70	70	1,104	1,104
Waste and Biomass Valorization	2019	1	70	70	2,851	2,851
Bioresources	2019	1	100	100	1,409	1,409
Wood Research	2019	1	70	70	0,688	0,688
Bioresources	2020	1	100	100	1,614	1,614
Wood Science and Technology	2021	1	200	200	2,898	2,898
International Journal of Adhesion and Adhesives	2021	1	100	100	3,400	3,400
RAZEM		**13**	**890**	**890**	**18,208**	**18,208**
Czasopisma z listy B						
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2010	5	10	50	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2011	3	10	30	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2012	4	10	40	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2013	8	10	80	-	-

Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2014	9	10	90	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2015	6	10	60	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2016	4	10	40	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2017	5	10	50	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2019	2	40	80	-	-
Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	2020	2	40	80	-	-
RAZEM		**48**		**600**		

- h-index (Cytowania Scopus) - 8
- h-index (Cytowania WoS) - 9

Monografia:

1. Górski J., Wilkowski J., ***Czarniak P*** (2009). Introduction to automatic supervision of wood machining system. W: Górski Jarosław, Zbieć Marcin (red.),Wood machining and processing – product quality and waste characteristics, WULS – SGGW Press, 5-26, 3 punkty.

W dalszej części autoreferatu przytoczono tylko najbardziej reprezentatywne prace naukowe odnoszące się do przedstawionych poniżej zagadnień, z którymi miałem najczęściej kontakt.

6.1 Badania skrawalności materiałów drzewnych

W ramach współpracy z Uniwersytetem w Mons (Belgia) w pierwszej z prac przeanalizowano skrawalność czterech gatunków drewna, tj. olcha, obeche, jatoba, dąb ***[Czarniak et al. 2019]***.Zastosowano dwie różne metody wyznaczania podatności na obróbkę skrawaniem materiałów drzewnych. W pierwszej z nich rejestrowano opory skrawania podczas pracy noża elementarnego, a w drugiej podczas obróbki wierceniem. Test polegał na wykonywaniu kanałów w badanym materiale o zmieniającej się skokowo głębokości rowka od 0,05 mm do 0,5 mm z odstopniowaniem co 0,05 mm.

Specjalistyczne stanowisko badawcze pozwoliło na pomiar siły składowej poziomej i pionowej, a następnie wyznaczenie jednostkowego oporu skrawania. W przypadku wiercenia

dokonywano pomiaru siły osiowej i momentu obrotowego. Jako materiału referencyjnego użyto drewna dębu. Wzięto pod uwagę wartości średniej wartości siły osiowej i momentu obrotowego, wartość C1 i C2 (C1 to nachylenie krzywej na wykresie pt. moment obrotowy T *vs.* ROP/RPM, a C2 to nachylenie krzywej na wykresie pt. siła osiowa W vs. ROP/RPM), jednostkowy opór skrawania podczas rowkowania ε, współczynnik odporu podczas rowkowania ζ, jednostkowy opór skrawania podczas wiercenia ε i współczynnik tarcia podczas wiercenia ζ. Termin ROP oznacza wielkość posuwu na obrót, a RPM prędkość obrotową wrzeciona.

Przeprowadzone analizy statystyczne dotyczyły korelacji między względnymi wskaźnikami skrawalności uzyskanymi dla różnych materiałów drzewnych wyznaczonymi podczas obróbki wierceniem na obrabiarce CNC, będącej do dyspozycji w Katedrze Mechanicznej Obróbki Drewna WTD, a wskaźnikami otrzymanymi podczas badań w Mons.

Zestawienie pozostałych artykułów z moim udziałem dotyczących tego zagadnienia pokazuje, że opory skrawania są podstawowym najczęściej stosowanym wskaźnikiem określającym podatność danego materiału na obróbkę skrawaniem. Tego rodzaju wskaźniki mają zastosowanie przy analizie różnorodnych materiałów drzewnych ***[Szymanowski et al. 2015, Wilkowski et al. 2014]***. Przy badaniu skrawalności płyt wykonanych z surowca odpadowego jakim są gałęzie wiśni i jabłoni dokonywano pomiaru siły osiowej i momentu obrotowego generowanych podczas procesu wiercenia ***[Kozłowski et al. 2017]***. Rezultaty badań pokazały, że jeden ze wspomnianych wskaźników skrawalności, czyli siła osiowa okazał się największy w przypadku płyty wytworzonej z drewna jabłoni. Zjawisko to może wynikać z wysokiej gęstości nasypowej tego rodzaju surowca, mającej podobny wpływ na proces wiercenia jak ciężar właściwy. Różnice między tymi trzema rodzajami materiału pod kątem momentu obrotowego nie są już jednak tak oczywiste. Z oporami skrawania związane są takie wskaźniki skrawalności jak trwałość narzędzi którą analizowano w pracy ***Szymanowskiego et al.]2014]***.

W trakcie realizacji grantu badaniom skrawalności poddano aż 14 różnych materiałów przyporządkowanych do trzech grup różniących się między sobą strukturą wewnętrzną, obejmujących płyty wytworzone z wykorzystaniem włókien drzewnych, płyt wiórowych i różnych rodzajów materiałów o budowie warstwowej ***[Podziewski et al. 2018]***. Oprócz analizy oporów skrawania podczas wiercenia przeanalizowano także jakość obróbki. W większości badań jako materiał referencyjny przyjęto płytę MDF z racji jej jednorodnej struktury. Okazało się, że indeksy skrawalnością wyznaczone na podstawie kryterium jakościowego nie są ściśle skorelowane z powszechnie stosowanymi parametrami określającymi właściwości mechaniczne i fizyczne analizowanych materiałów. Z kolei wskaźniki oparte na oporach skrawania nie zawsze są uzależnione od struktury wewnętrznej i stopnia jednorodności obrabianego materiału ***[Czarniak et al. 2014]***. Na przykład w badaniach, w których poddano analizie skrawalność trójwarstwowej płyty MDF o dwóch różnych wielkościach włókien w warstwie wewnętrznej i przy trzech wartościach posuwu na obrót podczas wiercenia (0,1 mm, 0,3 mm i 0,5 mm), poziom oporów skrawania okazał się porównywalny z wartościami zaobserwowanymi dla standardowej płyty MDF.

W moim dorobku naukowym nie zabrakło także analizy dotyczącej skrawalności materiałów typu WPC (*Wood Plastic Composites*) ***[Wilkowski et al. 2013]***. W tym przypadku również zastosowano wskaźniki oparte na pomiarach siły osiowej i momentu obrotowego.

Zastosowano trzy rodzaje termoplastów, odpowiednio: polietylen, polipropylen i polistyren przy trzech różnych udziałach wagowych, tj. 30%, 50% i 70%. Jako materiału referencyjnego użyto zarówno standardowej trójwarstwowej płyty wiórowej, jak i płyty MDF. Dane zaprezentowane w pracy wskazują na dobrą skrawalność płyt z dodatkiem termoplastu, w szczególności zawierających polietylen zarówno w odniesieniu do płyty wiórowej, jak i MDF.

Spośród dodatków dodawanych do wiórów wchodzących w skład płyty wiórowej na uwagę zasługuje granulat gumy kauczukowo-butadienowo-styrenowej (SBR), którego zawartość w przebadanych płytach wiórowych wynosiła 10%, 20% i 30% ***[Wilkowski et al. 2014]***. Biorąc pod uwagę względny wskaźnik skrawalności oparty na wartości siły osiowej rejestrowanej dla trzech wartości posuwu na obrót, dodatek gumy przyniósł poprawę skrawalności szczególnie w przypadku jej większej zawartości (20% i 30%).

Z kolei biorąc pod uwagę oddziaływanie procesu produkcyjnego na organizm człowieka postrzegany również jako wyznacznik skrawalności danego materiału, należy uznać za wartościowe prace odnoszące się do wielkości składu stechiometrycznego powstających wiórów ***[Rogoziński et al. 2015, Rogoziński et al. 2017]***. Zastosowana w jednym z przytoczonych artykułów w odniesieniu do kilkunastu różnych kompozytów drzewnych metoda przesiewowa umożliwiła określenie udziału frakcji o określonych wymiarach. Użycie analizy dyfrakcyjnej za pomocą wiązki lasera pozwoliło na ustalenie zawartości najmniejszych cząstek, bardzo niebezpiecznych dla człowieka, których udział okazał się największy w przypadku frezowania płyty MDF. Co równie istotne, jest on dwa-trzy razy większy niż w przypadku obróbki wierceniem.

Jednym z kryteriów skrawalności można uznać jakość obróbki. Przykładem mogą być badania, w których badano jakość krawędzi otrzymanego elementu po procesie piłowania ***[Czarniak et al. 2013]***. Analizie poddano 13 standardowych kompozytów drzewnych wytworzonych z włókien drzewnych, wiórów czy charakteryzujących się budową warstwową. Rezultaty badań wskazują, że pod tym względem najlepszy okazał się lignofol i to zarówno analizując wielkość wyszczypów, jak i wystających włókien na krawędzi. Najgorszymi, biorąc pod uwagę pierwsze z powyższych kryteriów, okazały się płyta wiórowa laminowana oraz MFP, czyli odmiana płyty OSB (*oriented strandboard*), w której wióry są ułożone w różnych kierunkach w zależności od warstwy, a z uwagi na drugie kryterium płyta pilśniowa twarda i porowata. Jakość obróbki jako jeden z najważniejszych wskaźników skrawalności został zastosowany podczas wiercenia surowej płyty HDF ***[Podziewski et al. 2013]***. Brano pod uwagę zarówno miejsce, w którym narzędzie rozpoczęło pracę i w którym ją zakończyło. Uwzględniono także wielkość posuwu na obrót (0,1-0,7 mm) oraz chropowatość powierzchni na wewnętrznych powierzchniach otworu. Wpływ stanu narzędzia i trybu pracy (współbieżne i przeciwbieżne) na skrawalność laminowanej płyty HDF określanej na podstawie wielkości wyszczypów laminatu również został opisany w jednej z przytoczonych prac ***[Szymanowski et al. 2013]***.

Jednym z najistotniejszych problemów związanych z wyznaczaniem skrawalności jest pracochłonność i materiałochłonność. W ramach grantu zajęto się również tym tematem i zaproponowano skróconą metodę badań, w której wyznaczono zależności między czasem pracy narzędzia i prędkością skrawania ujęte w formule Taylora ***[Szymanowski et al. 2012]***. Okazało się, że różnice w wynikach między metodą tradycyjną a skróconą nie przekraczają 10%, a średnie oszczędności związane z zapotrzebowaniem na materiał sięgają 60%. Do metod

pozwalających na przyśpieszenie i uproszczenie tego typu badań należy również procedura polegająca na pomiarze czasu przejścia piły tarczowej podczas obróbki cięciem przez materiał przy założonym poziomie siły posuwu *[Wilkowski et al. 2013]*. Reasumując, badania w których brałem udział pozwoliły na znaczne rozszerzenie wiedzy na ten temat najbardziej przydatnych wskaźników skrawalności materiałów drewnopochodnych i określenie procedur ich wyznaczania najbardziej odpowiadających wymaganiom branży drzewnej.

1. ***Czarniak Paweł***, Szymanowski Karol, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Dagrain Fabrice (2019). Machinability characterization of solid wood with scratching and drilling techniques, Wood Research, 64(4), 719-730, 70 punktów, IF(0,688).
2. ***Czarniak Paweł***, Auriga Radosław, Wilkowski Jacek, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol (2014). Machinability of three layer MDF boards made of wood fibres with different dimensions, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 86, 50-55, 10 punktów.
3. ***Czarniak Paweł***, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Cyrankowski Mariusz (2013). Quality machinability indicators of wood-based materials after sawing, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 81, 37-41, 10 punktów.
4. Kozłowski Piotr, Kukuła Wojciech, Szymanowski Karol, Kowaluk Grzegorz, ***Czarniak Paweł***, Auriga Radosław, Kwaśny Łukasz (2017). Drilling features of particleboard made of selected fruit trees prunings, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 98, 53-58, 10 punktów.
5. Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł*** (2018). Relative machinability of wood-based boards in the case of drilling – experimental study, Bioresources, 13(1), 1761-1772. DOI: 10.15376/biores.13.1.1761-1772, 40 punktów, IF (1,396).
6. Podziewski Piotr, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł***, Wilkowski Jacek (2013). Raw HDF machinability experimental test – quality of drilling process, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 81, 175-179, 10 punktów.
7. Rogozinski Tomasz, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Szymanowski Karol, Podziewski Piotr, ***Czarniak Paweł*** (2017). Fine particles content in dust created in CNC milling of selected wood composites, Wood and Fiber Science, 49(4), 461-469, 30 punktów, IF (0,786).
8. Rogoziński Tomasz, Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł***, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol (2015). Dust creation in CNC drilling of wood composites, Bioresources, 10(2), 3657-3665, 40 punktów, IF (1,334).
9. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł***, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr, Cyrankowski Mariusz, Morek Radosław (2015). Machinability index of certain types of chipboards, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 90, 198-201, 10 punktów.
10. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł***, Wilkowski Jacek, Podziewski Piotr (2014). Tool life observed during milling as the indicator of MDF machinability,

Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 88, 261-264, 10 punktów

11. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł***, Wilkowski Jacek (2013). Laminated HDF machinability experimental test - quality of milling process, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 81, 259-263, 10 punktów
12. Szymanowski Karol, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł*** (2012). Short-time method of machinability rating of wood-based materials during milling: Chip and chipless woodworking processes 2012: the 8th International Science Conference: proceedings of papers: September 6-8, Technical University in Zvolen / Dzurenda Ladislav, Banski Adrián (red.), Technická univerzita vo Zvolene, 365-370, 4 punkty
13. Wilkowski Jacek, Kozub Wojciech, Borysiuk Piotr, Rousek Miroslav, ***Czarniak Paweł***, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol (2014). Machinability of particleboards bonded with SBR gum granulate, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 85, 230-234, 10 punktów.
14. Wilkowski Jacek, ***Czarniak Paweł***, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, Jabłoński Marek, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, Kordzikowski Marcin (2014). Comparison of boards machinability manufactured from waste raw materials origins from agriculture industry with standard wood-based materials. W: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2014: IX. Medzinárodná vedecká konferencia : zbornik prednášok: 11-13 September 2014, Zvolen.
15. Wilkowski Jacek, Borysiuk Piotr, Górski Jarosław, ***Czarniak Paweł*** (2013). Analysis of relative machinability indexes of wood particle boards bonded with waste thermoplastics, Drewno, 56(190), 139-144, 15 punktów, IF (0,171).
16. Wilkowski Jacek, ***Czarniak Paweł***, Górski Jarosław, Osipiuk Jan (2013). Evaluation of wood-based materials machinability with short-time method during sawing, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, 81, 293-298, 10 punktów.

6.2 Zastosowaniu technik plazmowych do modyfikacji powierzchni materiałów lignocelulozowych

Podczas pierwszego pobytu naukowego w Instytucie Blaise Pascala w Clermond Ferrand (Francja) przeprowadzono wstępne badania dotyczące poprawy przyczepności materiałów wykończeniowych w odniesieniu do płyty MDF ***[Perisse et al. 2017]***. W tym celu zastosowano metodę plazmowania DBD (*Dielectric Barrier Discharge*). W badaniach przeanalizowano wpływ ilości podawanego gazu, częstotliwość prądu i szybkość przemieszczania się głowicy. Porównano także skład chemiczny próbek przed modyfikacją i po modyfikacji z użyciem analizy XPS. Zwilżalność została zbadana metodą Sensile Drop Technique. Analiza chemiczna wykazała, że nastąpiło zjawisko aktywacji powierzchni na drodze utleniania, o czym świadczy wzrost liczby wiązań 01sA (C=O) i O1sB (C-). Zaobserwowano także spadek kąta zwilżania wraz z upływem czasu od momentu plazmowania, ale mimo to jego wartość po 25 dniach nie powróciła do stanu sprzed plazmowania.

W związku z bardzo obiecującymi wynikami przedstawionymi w omówionym wcześniej artykule, podczas następnego pobytu naukowego w Instytucie Blaise Pascala postanowiłem zweryfikować, czy zaobserwowana poprzednio poprawa zwilżalności powierzchni paneli wykonanych ze standardowej płyty wiórowej oraz MDF przełoży się na wzrost przyczepności najczęściej stosowanych w meblarstwie materiałów wykończeniowych *[Czarniak et al. 2022]*. Przeprowadzono bardziej szczegółową analizę dotyczącą zmian kąta zwilżania. Na tej podstawie wyznaczono całkowitą pracę adhezji oraz jej część polarną i dyspersyjną.

Dodatkowo użyto procedury uwzględniającej dynamikę procesu zwilżania. Następnie panele wykonane z płyty MDF pokryto zarówno wodorozcieńczalnym materiałem malarskim, jak i wykańczającą folią melaminową, a płytę wiórową tylko folią. W przypadku wykończenia farbą, za pomocą mikroskopu skaningowego sprzężonego z analizatorem EDS określono głębokość jej wnikania dla próbek referencyjnych oraz modyfikowanych plazmowaniem. Z kolei w przypadku paneli z płyty wiórowej testy przyczepności wykonano na maszynie wytrzymałościowej. Rezultaty badań wskazują na to, że modyfikacja powierzchni tego typu materiałów ma charakter powierzchniowy i nie wpływa na zwiększenie adhezji wspomnianych wcześniej materiałów.

1. ***Czarniak Paweł***, Borysiuk Piotr, El Bayda Hadi, Périsse Frédéric, Menecier Sébastien (2022). Analysis of technological effects of cold plasma treatment of wood based materials finished with finishing foil and paints, International Journal of Adhesion and Adhesives, 118, Numer artykułu: 103248, 1-6. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2022.103248, 100 punktów, IF (3,4).
2. Perisse Frederic, Menecier Sebastien, Duffour Emmanuel, Vacher Damien, Monier Guillaume, Destrebecq Pierre-Joseph, ***Czarniak Paweł***, Górski Jarosław, Wilkowski Jacek (2017). MDF treatment with a Dielectric Barrier Discharge (DBD) Torch, International Journal of Adhesion and Adhesives, 79, 18-22. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2017.09.006, 35 punktów, IF (2,065).

6.3 Diagnostyka procesu skrawania materiałów drzewnych

Tego typu tematyka, wynikająca z zakresu pracy doktorskiej, była przedmiotem moich zainteresowań naukowych szczególnie w pierwszym etapie działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora. W późniejszym okresie brałem czynny udział w pracach dotyczących określenia stopnia zużycia narzędzia zarówno na podstawie obrazu wykonanych otworów, jak i oporów skrawania czy sygnałów wibroakustycznych (hałas, emisja akustyczna AE i drgania) *[Wilkowski et al. 2013, Górski et al. 2019]*. Jak można zauważyć na podstawie przytoczonych poniżej artykułów, temat ten stanowi duże wyzwanie naukowe i wymaga zastosowania skomplikowanych algorytmów dotyczących zarówno obróbki sygnałów uzyskanych z czujników, jak i zaawansowanych metod związanych ze sztuczną inteligencją i sieciami neuronowymi.

W jednym z przytoczonych artykułów stopień zużycia wierteł przypisano do trzech grup, tj. zielonej, żółtej i czerwonej *[Jegorowa et al. 2020]*. W pracy przeanalizowano różne modele matematyczne pozwalające na określenie na podstawie uszkodzeń laminatu wokół

otworu wykonanego w płycie wiórowej laminowanej. Otrzymano bardzo zadowalające rezultaty, w których dokładność, z jaką wnioskowano na podstawie jakości obróbki o stopniu zużycia narzędzia wynosiła 80,49%. Wykorzystując możliwie największe pole obejmujące zarysy wykonanego otworu wykryto tylko kilka błędów krytycznych, tzn. dotyczących błędnego rozróżnienia pomiędzy klasą czerwoną (stan całkowitej niezdatności do pracy narzędzia) a zieloną (narzędzie w pełni przydatne). W ramach cyklu prac dotyczących tego zagadnienia poczyniono wysiłki, by uprościć i udoskonalić metody wykorzystujące sieci neuronowe, przyjmując założenie, że liczba pikseli charakteryzujących się pośrednim stopniem szarości jest w klasie czerwonej znacznie większa niż dla pozostałych *[Jegorowa et al. 2021]*.

W ramach tego zagadnienia analizowano również inne wielkości fizyczne mogące stanowić użyteczne narzędzia pozwalające na określenie stanu zużycia narzędzi skrawających. W jednym z przytoczonych artykułów oprócz oporów skrawania przeanalizowano sygnały wibroakustyczne takie jak drgania mechaniczne, hałas (zmiany ciśnienia akustycznego w zakresie słyszalnych częstotliwości) czy emisję akustyczną AE (falę ultradźwiękową rozchodzącą się na powierzchni obrabianego elementu). Badania wykazały, że tylko opory skrawania i drgania mechaniczne mogą być wykorzystywane w diagnostyce procesu skrawania. Hałas i emisja akustyczna okazały się nieprzydatne pod tym względem. Testy wykazały także, że model matematyczny wykorzystany do przewidywania stopnia zużycia narzędzi musi być oparty na co najmniej trzech narzędziach. Najlepsze rezultaty uzyskano dla modelu opartego na pięciu wiertłach poddanych procesowi tępienia.

1. Górski Jarosław, Szymanowski Karol, Podziewski Piotr, Śmietańska Katarzyna, ***Czarniak Paweł***, Cyrankowski Mariusz (2019). Use of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling, Bioresources, 14(2), 3379-3388, 100 punktów, IF (1,409).
2. Jegorowa Albina, Antoniuk Izabella, Kurek Jarosław, Bukowski Michał, Wioleta Dołowa, ***Czarniak Paweł*** (2020). Time-efficient Approach to Drill Condition Monitoring Based on Images of Holes Drilled in Melamine Faced Chipboard, Bioresources, 15(4), 9611-9624. DOI: 10.15376/biores.15.4.9611-9624, 100 punktów, IF (1,614).
3. Jegorowa Albina, Kurek Jarosław, Antoniuk Izabella, Dołowa Wioleta, Bukowski Michał, ***Czarniak Paweł*** (2021). Deep learning methods for drill wear classification based on images of holes drilled in melamine faced chipboard, Wood Science and Technology, Springer, 55(1), 271-293. DOI: 10.1007/s00226-020-01245-7, 200 punktów, IF (2,898).
4. Wilkowski Jacek, Trzaska Adam, ***Czarniak Paweł***, Osipiuk Jan, Cyrankowski Mariusz (2013). Accuracy of automatic vision methods of tool wear assessment after chipboards milling, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 81, 299-303, 10 punktów.

6.4 Trwałość narzędzi skrawających przeznaczonych do obróbki materiałów drzewnych

Podstawowym obszarem moich zainteresowań naukowych bezpośrednio związanych z tematyką stanowiącą mój wkład w dziedzinę są badania dotyczące trwałości narzędzi skrawających. Badania przeprowadzone przez ***Wachowicz et. al. [2019], Wilkowski et. al. [2018a]*** i ***Wilkowski et al. [2018b]*** obejmowały zarówno wpływ parametrów skrawania, jak i materiału narzędziowego (rodzaj węglika spiekanego WC-Co) na trwałość narzędzi. W szczególności istotna jest wielkość ziarna węglika oraz związana z tym zawartość kobaltu decydująca o właściwościach mechanicznych i fizycznych materiału narzędziowego. W badaniach okazało się, że trwałość narzędzi o najmniejszym ziarnie o wielkości 0,2-0,5 μm jest większa niż 0,5-0,8 μm czy 0,8-1,3 μm.

Testy w których brałem czynny udział, nie dotyczyły tylko wyznaczenia okresu eksploatacji standardowych narzędzi używanych powszechnie w przemyśle drzewnym, ale także miały na celu poprawę trwałości narzędzi zarówno za pomocą powłok narzędziowych, jak i przy zastosowaniu jonów azotu, cyrkonu i molibdenu ***[Barlak et al. 2019, Czarniak et al. 2020a, Czarniak et al. 2020b]***. Weryfikację trwałości narzędzi przeprowadzono podczas testów obejmujących frezowanie narzędziami z węglika WC-Co płyty MDF. Zaobserwowano poprawę trwałości ostrzy przy różnych dawkach jonów azotu. W badaniach zastosowano implanter typu MEVVA z wiązką bez separacji masy. Ponadto symulacja Monte Carlo umożliwiła ustalenie profilu głębokości, na którą wniknęły w materiał narzędziowy jony.

W innym artykule z moim udziałem wyznaczono z kolei optymalną liczbę zaimplementowanych jonów pod kątem zwiększenia żywotności wierteł ***[Wilkowski et al. 2019]***. Moje zaangażowanie podczas eksperymentów, w trakcie których przeprowadzano proces bombardowania jonami azotu ostrza skrawające, ściśle wynikało z pełnionej przeze mnie funkcji jednego z wykonawców grantu.

Zweryfikowano także niekonwencjonalne metody modyfikacji powierzchni ostrzy skrawających, do których należy odziaływanie laserem CO ***[Kołodziejczak et al. 2017]***. Niestety tego typu zabiegi nie przyniosły pożądanych efektów, o czym świadczyły złuszczenia powierzchni, rysy i spękania na powierzchniach roboczych narzędzi.

1. Barlak Marek, Wilkowski Jacek, Szymanowski Karol, ***Czarniak Paweł***, Podziewski Piotr, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy, Staszkiewicz Bogdan (2019). Influence of the ion implantation of nitrogen and selected metals on the lifetime of WC-Co indexable knives during MDF machining, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences Press, 108, 45-52, DOI: 10.5604/01.3001.0013.7680.
2. ***Czarniak Paweł***, Szymanowski Karol, Panjan Peter (2020a). Characteristic of the wear of a tool coating based on amorphous carbon during chipboard milling, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 111, 53-59. DOI: 10.5604/01.3001.0014.6652.
3. ***Czarniak Paweł***, Szymanowski Karol, Panjan Peter (2020b). Influence of the microstructure of tool coatings based on Ti and Al on the blunting process during

chipboard processing, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 112, 54-59. DOI: 10.5604/01.3001.0014.7356.

4. Kołodziejczak Paweł, Wilkowski Jacek, Barlak Marek, ***Czarniak Paweł***, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy (2017). Modification of the surfaces of wood cutting tools using CO2 laser-SEM analysis, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 98, 48-52, 10 punktów.
5. Wachowicz Joanna, Wilkowski Jacek, Wierzbicka Klaudia, ***Czarniak Paweł*** (2019). The influence of WC grain size on the durability of WC-Co cutting edges in the machining of wood-based materials, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 107, 65-71. DOI: 10.5604/01.3001.0013.7644.
6. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, Zagórski Jerzy, ***Czarniak Paweł***, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol (2019). Technical note: lifetime improvement and the cutting forces in nitrogen-implanted drills during wood-based material machining, Wood and Fiber Science, 51(2), 1-12. DOI: 10.22382/wfs-2019-021, 70 punktów, IF (1,104).
7. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, Wachowicz Joanna, ***Czarniak Paweł*** (2018a). Taguchi analysis of WC-Co tools life in milling of wood-based materials, Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, 11(1), 205-210, 1 punkt.
8. Wilkowski Jacek, Barlak Marek, Werner Zbigniew, ***Czarniak Paweł***, Wachowicz Joanna (2018b). The effect of the WC-Co properties on the tool wear during particleboards milling, Trieskové a Beztrieskové Obrábanie Dreva = Chip and Chipless Woodworking Processes, Technical University in Zvolen, 11(1), 211-216, 1 punkt.

7 INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH I POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

Po uzyskaniu stopnia doktora ukazały się dwie prace popularyzujące naukę w przemyśle, w których byłem współautorem:

1. Wilkowski Jacek, Górski Jarosław, Podziewski Piotr, Szymanowski Karol, ***Czarniak Paweł***, Rogoziński Tomasz (2013). Skrawalność płyt drewnopochodnych – kryteria, wskaźniki i metody oceny. Wybrane aspekty produkcji tworzyw drzewnych: szkolenie. Fojutowo, 24-25 październik 2013.
2. Wilkowski Jacek, ***Czarniak Paweł*** (2014). Cięcie materiałów drzewnych piłami tarczowymi – materiały narzędziowe, kryteria doboru pił, trwałość pił, jakość obróbki i energochłonność procesu piłowania. Biuletyn Informacyjny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie, 3/4, 99-116.

W 2023 roku byłem promotorem pracy inżynierskiej pt. *Trwałość narzędzi skrawających powlekanych wybranymi powłokami PVD stosowanych w przemyśle drzewnym* wykonanej przez p. Maksymiliana Gloeh obronionej w dniu 10.02.2023.

Wyjazdy w ramach programu CEEPUS **„Non Traditional processes in production Technologies and integration of the study and research in the eastern and central Europe Universities"**:

- Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology (04.2009),
- Technical University in Zvolen, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology (10.2009), CII-SK-0310-02-910,
- "Transilvania" University of Brasov (11.2009), CII-SK-0310-02-910-M-31731.

Miesięczny pobyt w ramach Erasmus Mundus na Uniwersytecie Urgench w Uzbekistanie (09/10.2015).

Wielokrotne wyjazdy z programu Erasmus+ do większości ośrodków naukowych, z którymi Wydział Technologii Drewna ma podpisane porozumienia (Słowacja, Republika Czeska, Rumunia, Turcja, Francja, Niemcy):

- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (10.2023),
- Kastamonu University – Turcja (11.2022),
- Artvin Çoruh University – Turcja (05.2022),
- Mendel University in Brno – Czechy (04.2022),
- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (11.2021),
- Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo – Niemcy (12.2019),
- Artvin Çoruh University – Turcja (11.2019),
- Burdur Mehmet Akif Ersoy University – Turcja (05.2019),
- École supérieure du bois- Nantes – Francja (04.2018),
- Latvia University of Agriculture – Jelgava – Łotwa (09.2017),

- Bartın University – Turcja (06.2017),
- Brasov University – Rumunia (09.2016).

Ponadto prowadzę zajęcia dydaktyczne z następujących przedmiotów:

- metrologia techniczna i systemy pomiarowe,
- nauka o materiałach,
- urządzenia produkcyjne,
- diagnostyka procesu skrawania.

Dyplomy:

- Award of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Bulgaria for Participation in the V International Scientific Conference ***MATERIAL SCIENCE (NON EQULI(BRIUM PHASE TRANSFORMATIONS 2019***) for the report "TiAlN/a-CN coatings produced by PVD method on tools for Wood based materials machining"
- dyplom przyznany przez Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan – Tashkent Chemical-Technological Institute za udział w programie Erasmus Mundus w dn. 27.11.2015,
- Nagroda zespołowa III stopnia Rektora SGGW za osiągnięcia naukowe przyznana 1.04.2014,
- Dyplom uznania Rektora SGGW za osiągnięcia naukowe przyznana 1.10.2007.

Dodatkowe szkolenia i kursy:

- Szkolenie nt. „Student w spektrum autyzmu" zaśw. 96/2023 prowadzone w ramach projektu współfinansowanego z programu operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 pt. „SGGW – Uczelnia dostępna" [POWR.03.05.00-00-A044/21],
- Szkolenie nt. „Obsługa studentów_ek z niepełnosprawnościami"
- Szkolenie dla audytorów organizowane przez UDT – zaśw. CSZ/W-1/10/2/05/10 wydane 10.05.2010
- „Audytor łańcucha dostaw w systemie PEFC" – zaśw. PEFC – CoC/2010/03/2.

Załączniki:

- Wyróżnienie za pracę doktorską
- Certyfikat językowy TOEIC
- Nagroda zespołowa rektora SGGW III stopnia za osiągnięcia naukowe w 2014 roku
- Dyplom za udział w konferencji naukowej w Bułgarii w roku 2019
- Dyplom za udział w programie Erasmus Mundus w roku 2015
- Potwierdzenie o odbyciu szkolenia w ramach programu Erasmus+ na Uniwersytecie w Clermont-Ferrand w Francji w roku 2019
- Wniosek wyjazdowy zaakceptowany przez prorektora SGGW ds. współpracy międzynarodowej na wyjazd na Uniwersytet w Clermont-Ferrand w Francji jako profesor wizytujący w roku 2018

- Potwierdzenie uzyskania grantu w ramach programu Erasmus Mundus na pobyt na Uniwersytecie Urgench w Uzbekistanie w roku 2015
- Potwierdzenie uzyskania grantu na pobyt naukowy STSM w ramach COST ACTION 1006 w Portugalii w roku 2014
- Szkolenie nt. „Student w spektrum autyzmu" zaśw. 96/2023
- Szkolenie nt. „Obsługa studentów_ek z niepełnosprawnościami"
- Zaświadczenie o udziale w szkoleniu dla audytorów organizowanym przez UDT
- Certyfikat o odbyciu szkolenia d.t. łańcucha dostaw w systemie PEFC
- Świadectwo czeladnicze wydane przez cech rzemiosł drzewnych w Warszawie

1.08.2024

.....

(podpis wnioskodawcy)

KANCELARIA GŁÓWNA SGGW
2024 -09- 26
WPŁYNĘŁO DNIA -1-

RPW/26830/2024 N
Data:2024-09-26

RADA DOSKONAŁOŚCI NAUKOWEJ

Warszawa, dnia 13 września 2024 r.

DRKN.Z4.400.10.2024

Rektor
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Magnificencjo,

Rada Doskonałości Naukowej, działając na podstawie art. 221 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742), po dokonaniu oceny formalnej wniosku dr. Pawła Czarniaka o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauki rolnicze, w dyscyplinie nauki leśne wszczętego w dniu 2 sierpnia 2024 r. przekazuje pełną dokumentację sprawy.

Jednocześnie Rada Doskonałości Naukowej zwraca się z prośbą o przesłanie informacji o podjęciu się tego postępowania albo uchwały, o której mowa w art. 221 ust. 2 wskazanej ustawy, w przypadku podjęcia jej w terminie 4 tygodni od dnia doręczenia przedmiotowego wniosku do podmiotu habilitującego.

Z poważaniem

prof. dr hab. Mansur Rahnama-Hezavah
Sekretarz
Rady Doskonałości Naukowej
/-podpis elektroniczny/

W załączeniu:

- Wniosek przewodni.
- Dane wnioskodawcy
- Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora.
- Autoreferat
- Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczy wkład w rozwój określonej dyscypliny.
- Publikacje

Rada Doskonałości Naukowej
plac Defilad 1 (Pałac Kultury i Nauki, XXIV p.)
00-901 Warszawa

tel. 22/ 656 60 98
fax: 22/ 656 63 28
e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl
www.rdn.gov.pl

Klauzula informacyjna dotycząca przetwarzania danych osobowych w Radzie Doskonałości Naukowej dostępna jest na stronie: www.rdn.gov.pl

- Potwierdzenia odbytych staży
- Wyróżnienia, nagrody, certyfikaty, potwierdzenia uzyskania grantów

Do wiadomości:

- dr Paweł Czarniak

Potwierdzam zgodność kopii wydruku z dokumentem elektronicznym:

Identyfikator dokumentu	33320.87270.183123
Nazwa dokumentu	[H] - przekazanie wniosku Czarniak.pdf
Tytuł dokumentu	[H] - przekazanie wniosku Czarniak
Sygnatura dokumentu	DRKN.Z4.400.10.2024
Data dokumentu	13.09.2024
Skrót dokumentu	F709825833F45C157E60F4D8D7ADD76C53A26F23
Wersja dokumentu	1.3
Data podpisu	13.09.2024 14:21:20
Podpisane przez	Mansur Rahnama-Hezavah sekretarz RDN
Rodzaj certyfikatu	Certyfikat kwalifikowany podpisu elektronicznego

EZD 3.122.10.10.

Data wydruku: 20.09.2024

Autor wydruku: Szydłowska Aleksandra (koordynator)