Załącznik Nr 2 (A)
do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
z dnia 25 kwietnia 2019 r.

dr inż. Tomasz Krystofiak

AUTOREFERAT

prezentujący dorobek i osiągnięcia naukowe

Krystofiak

Poznań, kwiecień 2019

Spis treści

1. Edukacja i status zawodowy 3
1.1. Wykształcenie 3
1.2. Tytuł zawodowy i stopień naukowy 3
1.3. Przebieg pracy zawodowej 3
2. Osiągnięcie naukowe wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego 4
2.1. Prezentacja prac badawczych zaliczonych do osiągnięcia naukowego 6
2.2. Wstęp 7
2.3. Cel i zakres pracy 14
2.4. Prezentacja dokonań naukowo-badawczych 15
2.5. Podsumowanie 30
2.6. Literatura 34
3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych 37
4. Wskaźniki wartościujące dokonania naukowe 47

Imię i nazwisko: Tomasz Krystofiak

1. Edukacja i status zawodowy

1.1. Wykształcenie

- 1985-1989 Liceum Ogólnokształcące im. gen. J. Dąbrowskiego w Szamotułach
- 1989-1994 Akademia Rolnicza w Poznaniu (AR). Wydział Technologii Drewna (WTD) - stacjonarne jednolite studia magisterskie

1.2. Tytuł zawodowy i stopień naukowy

- 1994 tytuł zawodowy mgr inż. technologii drewna w zakresie chemicznej technologii drewna. AR w Poznaniu WTD; temat pracy: „*Wpływ temperatury i czasu składowania klejowych żywic mocznikowo-formaldehydowych na ich właściwości reologiczne*" (maszynopis ss.117, tab.71, rys. 20, poz. lit. 31), obrona pracy 28 czerwca 1994
  promotor: dr hab. inż. Stanisław Proszyk, prof. nadzw.
  recenzent: prof. dr hab. inż. Michał Zenkteler, prof. zw.
- 2002 doktor nauk leśnych w zakresie drzewnictwa – uchwała Rady Wydziału Technologii Drewna AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu z 20 grudnia 2002;
  temat pracy: „*Badania nad zastosowaniem środków proadhezyjnych do klejenia wybranych materiałów w przemyśle drzewnym*" (maszynopis ss.181, tab.57, rys.40, poz. lit. 383)
  promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Proszyk
  recenzenci: prof. dr hab. Janina Łęcka, prof. dr hab. inż. Andrzej Starecki

1.3. Przebieg pracy zawodowej

- 1994-09-15÷2003-01-31 asystent; AR w Poznaniu (od 1996 im. A. Cieszkowskiego), WTD, Katedra Klejenia i Uszlachetniania Drewna
- od 2003-01-31 adiunkt; j. w. (od 2008 : Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu)
- od 2013-10-01 adiunkt, j. w. Katedra Tworzyw Drzewnych (Zakład Klejenia i Uszlachetniania Drewna)

2. Osiągnięcie naukowe wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, o którym mowa w art. 16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2002 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) jest monotematyczny cykl 8 prac naukowo-badawczych, które zostały opublikowane w języku angielskim, w latach 2014-2018, na łamach 5 różnych periodyków. Kolejność wyszczególnionych poniżej publikacji jest determinowana rokiem ich ogłoszenia drukiem, aczkolwiek poszczególne postępowania wydawnicze obejmowały okres od niespełna roku do ponad trzech lat. Tytuł cyklu opracowań zredagowano w brzmieniu następującym:

„***Charakterystyka powierzchni modyfikowanego termo-mechanicznie drewna jako podłoża do lakierowania***"

Przedkładane osiągnięcie naukowe udokumentowane jest wyszczególnionymi poniżej publikacjami naukowymi[x)], o łącznej liczbie punktów według listy MNiSW **166** oraz sumarycznym współczynnikiem wpływu IF wg bazy Journal Citation Reports (JCR - kompatybilne z bazą UPP) **7,606** i ogólnej liczbie cytowań **71.** Szacunkowy wkład wnioskodawcy w powstanie poszczególnych publikacji uwzględnionych w osiągnięciu wraz z oświadczeniami współautorów poszczególnych prac zawarto w załączniku nr 4.

1. **Krystofiak T.**, Bekhta P., Muszyńska M. (2014): Effect of temperature of thermo-mechanical treatment of pine wood (*Pinus sylvestris* L.) veneers upon gloss and wettability. Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW. For. and Wood Technol. (88): 126-129. ISSN: 1898-5912,

   6 pkt. MNiSW
   Liczba cytowań - 0

2. Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.** (2014): Colour in short-term thermo-mechanically densified veneer of various wood species. European Journal of Wood and Wood Products 72 (6): 785-797. DOI 10.1007/s00107-014-0837-1, ISSN: 0018-3768,

   IF=1,235; 30 pkt. MNiSW
   Liczba cytowań - 18

3. Bekhta P., Proszyk S., Lis B., **Krystofiak T.** (2014) Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers. European Journal of Wood and Wood Products 72 (6): 799-808. DOI 10.1007/s00107-014-0843-3, ISSN: 0018-3768,

IF=1,235; 30 pkt. MNiSW
Liczba cytowań - 16

4. Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Mamoňová M., Pinkowski G., Lis B. (2014): Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers. Wood Material Science & Engineering 9 (4): 233-245**.** DOI 10.1080/17480272.2014.923042, ISSN: 1748-0272,

(artykuł w bazie **SCOPUS liczba cytowań 14)**

5. Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Lis B. (2015): Surface wettability of short-therm thermo-mechanically densified wood veneers. European Journal of Wood and Wood Products 73 (3): 415-417. DOI 101007/S00107-015-0902-4, ISSN: 0018-3768,

IF=1,081; 30 pkt. MNiSW
Liczba cytowań - 8

6. Bekhta P., **Krystofiak T**. (2016): The influence of short-term thermo-mechanical densification on the surface wettability of wood veneers. Maderas-Cienc. Tecnol. 18 (1): 79-90. DOI 10.4067/S0718-221X2016005000008, ISSN: 0717-3644,

IF=1,100; 30 pkt. MNiSW
Liczba cytowań - 7

7. Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Sedliačik J., Novak I., Mamoňová M. (2017): Effect of short- thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers. Wood Material Science & Engineering 12 (1): 40-54. DOI 10.1080/17480272.2015.1009488, ISSN: 1748-0272,

(artykuł w bazach: **Web of Science i SCOPUS**)
Liczba cytowań - 7

8. Bekhta P., **Krystofiak T.** Proszyk S., Lis B. (2018): Surface gloss of lacquered medium density fibreboard panels veneered with thermally compressed birch wood. Progress in Organic Coatings 117: 10-19. DOI 10.1016/j.porgcoat.2017.12.020, ISSN: 0018-3768,

IF=2,955; 40 pkt. MNiSW
Liczba cytowań - 1

*) żadna z poniższych prac nie była częścią cyklu w jakimkolwiek postępowaniu o stopień lub tytuł naukowy

2.1. Prezentacja prac badawczych zaliczonych do osiągnięcia naukowego

Podejmując koncepcję przedstawienia rzeczonego cyklu prac, postanowiono w ramach wprowadzenia w zagadnienie, w bardzo ogólnym zarysie przedstawić tematykę modyfikacji termo-mechanicznej drewna (TM). W punkcie tym zaakcentowano wybrane kwestie składające się na charakterystykę powierzchni drewna jako podłoża do lakierowania. Następnie sformułowano cel ogólny dla wyodrębnionych 4 zadań badawczych zrealizowanych w przedmiotowym cyklu prac, po czym w sposób zwarty opisano materiał doświadczalny. Poszczególne grupy tematyczne poświęcono zgodnie z dokonanym usystematyzowaniem w kolejności: strukturze powierzchni modyfikowanych fornirów, ze szczególnym uwzględnieniem ich chropowatości, następnie barwie i stopniowi połysku, zwilżalności powierzchni oraz zagadnieniu lakierowania w aspekcie kształtowania się stopnia połysku uzyskiwanych powłok. Prezentując w przyjętej sekwencji poszczególne grupy, na ich wstępie podano elementarne informacje z zakresu metodologii wykonanych eksperymentów oraz wybrane dokonania badawcze w formie wielce uogólnionej, kończąc ten punkt syntetycznym podsumowaniem. Jednocześnie w dążeniach do skonsolidowania treści, zrezygnowano z przytaczania uzasadnień dotyczących podjęcia określonej problematyki, formułowania hipotez badawczych oraz odwoływania się w tym kontekście do źródeł literaturowych, a także przytaczania wartości liczbowych oraz szczegółowego interpretowania uzyskanych rezultatów i ich konfrontowania ze stanem dotychczasowej wiedzy. Przyjęciu takiej koncepcji przyświecało w głównym stopniu to, że w poszczególnych publikacjach składających się na prezentowany cykl prac, zawarto takie dane, cytując zarazem w ich kontekście ogółem 245 źródłowych pozycji literaturowych.

Należy nadmienić, że przedmiotowe eksperymenty prowadzono w ujęciu relatywnym, w interpretacjach odnosząc uzyskane dane do próbek referencyjnych (kontrolnych), które stanowiły forniry nie modyfikowane. Wyniki przeprowadzonych pomiarów poddawano elementarnemu oszacowaniu statystycznemu (średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, poziom dokładności), zaś w niektórych publikacjach poszczególne zależności analizowano w ujęciu korelacyjnym wybranymi metodami statystycznymi (wieloczynnikowa analiza wariancji *ANOVA* z wykorzystaniem oprogramowania IBM SPSS Statistics oraz procedur odpowiednio *Duncan* oraz *t-test*).

2.2. Wstęp

Drewno jako odtwarzalny polimer naturalny, oprócz niepodważalnych walorów dekoracyjnych, doskonałych charakterystyk ekologicznych oraz licznych zalet materiałowych, wykazuje także w stanie natywnym, niektóre właściwości ograniczające w pewnym stopniu jego funkcjonalność w poszczególnych obszarach zastosowań. Do specyficznych cech drewna, implikujących zarazem z punktu widzenia inżynierii materiałowej wspomniane ograniczenia zalicza się w pierwszym rzędzie: relatywnie skomplikowaną strukturę anatomiczną na poziomie zarówno mikro-, makro- jak i submikroskopowym, wielce zróżnicowaną budowę chemiczną oraz pH, w tym także pojemność buforową. Kolejnym wielce istotnym parametrem jest anizotropia materiałowa drewna, która to w znaczącym stopniu determinuje jego fizykomechaniczne właściwości. Drewno charakteryzuje się także znaczącą porowatością, wykazując powinowactwo do różnych płynów i gazów, w tym w szczególności do wody oraz pary wodnej, skutkujące z kolei kształtowaniem się wilgotności równowagowej oraz związanymi z tym zmianami desorpcyjnymi, powodującymi odkształcenia wilgotnościowe i co za tym idzie odpowiednią stabilność wymiarową. Ponadto drewno jest materiałem palnym, aczkolwiek o specyficznych, a zarazem korzystnych w przypadku rozwiązań konstrukcyjnych zachowaniach w warunkach pożaru. Wykazuje również relatywnie małą twardość powierzchniową, znaczącą podatność na różnego rodzaju zabrudzenia oraz niską odporność na oddziaływania czynników biotycznych. Pewna część wymienionych niedoskonałości materiałowych drewna jest związanych ze składem chemicznym substancji drzewnej, która w ok. 70% zbudowana jest z węglowodanów w postaci celulozy i hemiceluloz, zawierających grupy hydroksylowe charakteryzujące się hydrofilnością (Kokociński 2002, 2004, Krzysik 1974). Wszystkie te cechy stanowią zarazem o specyfice drewna, jako podłoża do lakierowania (Pecina i Paprzycki 1997, Proszyk 1999).

W związku z powyższym podejmowane są rozmaite rozwiązania techniczne w zakresie korygowania naturalnych właściwości drewna, które określane są bardzo uogólnionym pojęciem modyfikacja. Badania nad różnymi metodami modyfikacji drewna są prowadzone w wielu ośrodkach naukowych na świecie od niemal już stu lat (Kollmann 1951). We współczesnym drzewnictwie ranga badań nad modyfikacją, stanowi wielce priorytetowe kierunki. Od wielu już lat uruchamiane są dość liczne międzynarodowe programy i projekty badawcze oraz organizowane konferencje naukowe, w tym także o charakterze cyklicznym.

Modyfikacja drewna obejmuje w uogólnionym znaczeniu oddziaływanie na drewno różnorakich czynników, których efektem jest poprawa wybranych właściwości bądź też wytworzenie nowych materiałów (tworzyw, kompozytów), przyjaznych dla ludzi i środowiska naturalnego (Hill 2006). Generalnie rzecz biorąc, działania te obejmują zarówno wytwarzanie rozmaitych kompozytów lignocelulozowych, stosowanie różnego rodzaju zabezpieczeń ochronnych, jak i oddziaływanie na drewno różnych czynników natury fizycznej, chemicznej, bądź fizykochemicznej, w wyniku której uzyskuje się materiały o udoskonalonych właściwościach, uwarunkowanych zmianami mikroskopowej budowy drewna bądź (i) jego struktury chemicznej.

Opracowano wiele metod modyfikacji różniących się rodzajem czynników oddziałujących na drewno (Borysiuk i Mamiński 2007, Doczekalska 2010). Przykładowo Norimoto i Grill (1993) jako podstawowe sposoby modyfikacji drewna wyróżnili następujące:

- pasywne - w istocie niepowodujące zmian struktury chemicznej składników drewna, a ulepszenie jego właściwości następuje w szczególności wskutek "odseparowania" ("odizolowania") grup chemicznych o charakterze hydrofilowym, zwykle realizowane poprzez nasycanie drewna środkami hydrofobowymi.
- aktywne - będące efektem oddziaływania na drewno rozmaitych czynników fizykochemicznych, chemicznych bądź biologicznych, implikujące różnego rodzaju zmiany zarówno w strukturze morfologicznej, jak i fizykochemicznej.

Z kolei Reinprecht (2008) w monografii poświęconej problematyce ochrony drewna dokonał klasyfikacji metod modyfikacji, którą zamieszczono w tabeli 1. Na odbywającej się zaś w roku 2003 konferencji naukowej poświęconej modyfikacji drewna (van Acker i Hill 2003), przyjęto w ramach dążeń do unifikacji terminologicznej, stosowny podział, wyróżniając jako podstawowe odpowiednio metody: termiczne, chemiczne oraz biologiczne (enzymatyczne).

Modyfikacja dotyczyć może zarówno całej objętości drewna, jak i skupiać się w głównej mierze na powierzchni i strefach przypowierzchniowych. Te ostatnie rozwiązania prowadzone są nie tylko w celu ulepszenia szeroko rozumianych właściwości drewna, ale również zmierzają do zwiększenia efektywności wykonywania wybranych operacji technologicznych w jego przerobie, np. w odniesieniu do klejenia fornirów w produkcji sklejki bądź oklejania powierzchni elementów płytowych okleinami naturalnymi, a następnie ich lakierowania.

Tabela 1

Podstawowe metody modyfikacji drewna (Reinprecht 2008)

Metody	Zmiany strukturalne drewna na poziomie		
	Morfologiczno-geometrycznym	Anatomicznym	Molekularnym
Mechaniczne	+	+	-
Chemiczne - wypełnienie przestrzeni wolnych - blokowanie grup OH	- -	+ (+)	- +
Termiczne	-	(+)	+
Biologiczne	-	-	+

Do specyficznych właściwości drewna jako podłoża do lakierowania, determinujących zarazem jakość uzyskiwanych powłok, a więc ich walory funkcjonalne, a zwłaszcza estetyczno-dekoracyjne, a także adhezję do podłoża oraz trwałość, zalicza się różnorakie czynniki związane w pierwszym rzędzie z parametrami materiałowymi powierzchni, a także z operacjami technologicznymi przeprowadzanymi w ramach jej przygotowania do uszlachetniania, zwłaszcza obróbką szlifowaniem, która kształtuje chropowatość. Jak już zaakcentowano wcześniej do ważnych charakterystyk drewna jako podłoża do lakierowania zalicza się m.in., strukturę anatomiczno-morfologiczną, skład chemiczny, porowatość w tym także udział ultraporów, warunkujących z kolei wewnętrzną powierzchnię drewna, nierówności powierzchni oraz nasiąkliwość określającą wnikanie cieczy w tkankę drzewną. Do cech zewnętrznych drewna, związanych z wyglądem, a co za tym idzie atrakcyjnością danego materiału dla potencjalnego nabywcy, a więc odzwierciedlającym jego walory estetyczno-dekoracyjne, w pierwszym kolejności eksponuje się barwę (kolorystykę), rysunek drewna oraz stopień połysku powierzchni. Właściwości tych choć są ważnymi kryteriami oceny zwłaszcza w odniesieniu do produktów finalnych, kreujących także zarazem popyt na meble oraz artykuły wyposażenia wnętrz, nie określa się w praktyce drzewnictwa mierzalnymi wskaźnikami liczbowymi. Stanowią one zwykle właściwości materiałowe postrzegane zmysłem wzroku bądź dotyku. Z kolei na poziom przyczepności lakierów do powierzchni drewna, wpływają liczne czynniki, spośród których budowa anatomiczna, porowatość, chropowatość oraz skład chemiczny warunkują w pierwszej kolejności szeroko rozumiane powinowactwo fizykochemiczne, a więc zwilżalność, a co za tym także skutkuje rozlewność oraz ściekalność uzyskiwanych wymalowań lakierowych. Właściwości powyższe determinują także

przyczepność do podłoża na zasadzie termodynamicznych kryterialnych założeń adsorpcyjnej teorii adhezji. Z kolei makroskopowa budowa drewna, w powiązaniu z porowatością oraz stopniem przygotowania powierzchni w odniesieniu do nierówności, warunkuje wnikanie lakierów w podłoże, a także ich oddziaływanie z drewnem na poziomie ultrastruktury ściany komórkowej, odbywających się na podstawie mechanicznej teorii adhezji. Wnikanie lakierów w drewno wpływa także na grubość uzyskiwanych powłok, a także zużycie wyrobów na jednostkę uszlachetnianej powierzchni, a co za tym idzie wydajność materiałową realizowanych procesów technologicznych. Z kolei skład chemiczny drewna odgrywa pierwszoplanowe znaczenie w odniesieniu do przyczepności lakierów do podłoża, kształtującej się na podstawie założeń chemicznej teorii adhezji.

W ostatnim dwudziestoleciu znaczące zainteresowanie wzbudza modyfikacja termo-mechaniczna (TM) drewna, stanowiąca swego rodzaju sposób hybrydowy, obejmujący jednoczesne oddziaływanie w odpowiednio dobranym czasie skompilowanych czynników w postaci energii cieplnej i kompresji mechanicznej. Przeprowadzana jest ona zarówno w odniesieniu do drewna litego, jak i fornirów, a generalnie rzecz biorąc polega ona na oddziaływaniu odpowiednio kontrolowanej energii cieplnej przekazywanej drogą kontaktową (temperatura zwykle w zakresie wartości 150÷220ºC) i odpowiedniej kompresji mechanicznej (ciśnienie prasowania 4÷12 MPa), w zróżnicowanym czasie prowadzenia tego procesu. W odniesieniu do fornirów z drewna, czas modyfikacji może być ograniczony do zaledwie kilku minut (3÷4 min), a rozwiązanie takie określa się akronimem angielskim STTM. Modyfikacja TM fornirów z drewna przeprowadzana przy odpowiednich parametrach, może powodować korzystne zmiany o charakterze trwałym, w szczególności w zakresie kształtowania się szeroko rozumianych charakterystyk ich powierzchni.

Do zalet modyfikacji TM fornirów z drewna, należy w pierwszej kolejności zaliczyć oddziaływanie na drewno wyłącznie czynników natury fizycznej, w postaci wspomnianej energii cieplnej oraz ciśnienia kompresji, w relatywnie krótkim czasie prowadzenia procesu. Metoda ta jest zatem w pełni ekologiczna, nie stwarzając zagrożeń dla zdrowia ludzi i zwierząt oraz przyrody. Proces modyfikacji wykonywany jest w sposób nieskomplikowany w zakresie niezbędnego wyposażenia technicznego, ograniczając się do stosowania rozpowszechnionych, tak w skali przemysłowej, jak i laboratoryjnej drzewnictwa wyposażeń, w postaci ogrzewanych pras hydraulicznych płaskich, powszechnie używanych w realizacji operacji klejenia drewna

bądź produkcji tworzyw drzewnych. Ewentualne odpady z dalszego przetwarzania drewna modyfikowanego TM, nie stwarzają jakichkolwiek zagrożeń i mogą być wykorzystane w produkcji płyt wiórowych (Borysiuk et al. 2007), a także poddawane recyklingowi energetycznemu poprzez spalanie, w tym również w warunkach domowych palenisk, np. kominków (Coulthard 2017). W efekcie procesu modyfikacji TM fornirów z rozmaitych gatunków drewna, generuje się interesujące walory estetyczno-dekoracyjne ich powierzchni w odniesieniu do rysunku drewna, uwypuklenia i zintensyfikowania (pociemnienia barwy) oraz zwiększenia stopnia połysku, a także gładkości. Uzyskiwane w powyższym względzie efekty mogą sprawiać, że rodzime gatunki drewna mogą odpowiednio w pewnym stopniu imitować egzotyczne. Pociemnianie kolorystyki powierzchni drewna powoduje jej ujednolicenie oraz maskowanie niektórych wad w postaci, np. lokalnych przebarwień. Dodatkowym atutem modyfikowanego tą metodą drewna jest poprawa jego stabilności wymiarowej, wzrost hydrofobowości oraz odporności na rozkład biotyczny.

Problematykę badawczą poświęconą modyfikacji termicznej drewna podjęto w kilku ośrodkach naukowo-badawczych na całym świecie (np.: Navi i Girardet 2000, Navi i Heger 2004, Yoshinara i Tsunematsu 2007, Unsal i Candan 2008, Welzbacher et al. 2008, Glijer i Grześkiewicz 2009, Fang et al. 2012, Arruda i Del Menezzi 2013, Candan et al. 2013, Rautkari i al. 2013). Wyniki tych badań, nie wnikając w szczegóły, wskazują na możliwości korygowania funkcjonalnych właściwości fizykomechanicznych drewna, m.in. takich jak: wilgotność równowagowa, gęstość, porowatość, twardość powierzchniowa, stabilność wymiarowa wytrzymałość oraz trwałość. Zmianom ulegać może struktura anatomiczno-morfologiczna drewna, która głównie determinowana jest stopniem kompresji termicznej uplastycznionego ciepłem drewna (np.: Blomberg et al. 2006, Kutnar et al. 2009, Ahmed et al. 2013, Tu et al. 2014). Modyfikacja TM drewna w zależności od parametrów prowadzenia tego procesu, może wpływać także na strukturę fizykochemiczną, generując zarazem takie właściwości powierzchni, jak m.in. zwilżalność, swobodna energia powierzchniową, a także stan naprężeń wewnętrznych w drewnie (np.: (Tjeerdsma et al. 1998, Wang i Cooper 2005, Kutnar et al. 2008, Candan et al. 2010, Diouf et al. 2011, Unsal et al. 2011, Fang et al. 2012, Arruda i Del Menezzi 2013, Rautkari et al. 2013). Przy czym godzi się nadmienić, iż większość z badań, w przywołanych powyżej pracach przeprowadzono na próbkach różnych gatunków drewna litego, w czasie długotrwałego oddziaływania ciepła i kompresji. W ograniczonej jedynie liczbie badań poświęconych

modyfikacji TM stosowano forniry pozyskane z różnych gatunków drewna (np.: Kamke 2006, Bekhta i Marutzky 2007, Bekhta et al. 2009, 2012, Candan et al. 2010, Diouf et al. 2011, Fang et al. 2012, Arruda i Del Menezzi 2013, Liu et al. 2013, Antikainen et al. 2014). Analiza danych literaturowych dowodzi, że w procesach modyfikacji TM drewna, zmiany cieplne w odniesieniu do wymiarów, jak i współczynnik jego rozszerzalności objętościowej w różnych rozważaniach natury zarówno teoretycznej, jak i utylitarnej są pomijane. Aczkolwiek rozszerzalność cieplna drewna jako materiału anizotropowego jest zróżnicowana, przy czym wzdłuż kierunku przebiegu włókien jest kilkukrotnie mniejsza od rozszerzalności w kierunku promieniowym lub stycznym. Generalnie przyjmuje się, że modyfikacja drewna w rozwiązaniach STTM, nie powoduje znaczących zmian w zakresie składu chemicznego drewna. W warunkach rzeczonego procesu, odparowuje woda z drewna oraz w pewnej ilości zawarte w nim składniki ekstrakcyjne, zwłaszcza o niskich temperaturach wrzenia. Składniki ekstrakcyjne zawarte w poszczególnych gatunkach drewna, w zależności od ich charakterystyk fizykochemicznych, a w szczególności od temperatur znamionowych (temperatura mięknienia, topnienia), mogą także migrować ku powierzchni. W warunkach termicznej modyfikacji drewna, w zależności od przyjętych parametrów procesu, rozpadowi mogą ulegać hemicelulozy, a powstałe związki o charakterze kwasowym reagować zwłaszcza z grupami hydroksylowymi celulozy, tworząc wiązania estrowe. Nie wyklucza się także interakcji grup hydroksylowych z powstawaniem wiązań wodorowych lub eterowych. Oprócz ilościowo-jakościowych zmian w chemicznym składzie składników drewna, może następować depolimeryzacja celulozy oraz wzrost stopnia jej krystaliczności, zarówno na zewnętrznej powierzchni drewna, jak i na powierzchniach wewnętrznych w strukturze mikroskopowej i przede wszystkim submikroskopowej (Bulian i Graystone 2009).

Z dokonań o charakterze utylitarnym należy wspomnieć o tym, iż w połowie lat 70-tych ubiegłego stulecia, na Politechnice Poznańskiej, prowadzono pionierskie prace finansowane przez ówczesne Zjednoczenie Przemysłu Meblarskiego, koncentrujące się nad opracowaniem prototypu przemysłowej walcarki, funkcjonującej w systemie *on line* (testowana prędkość linii w zakresie 2÷20 m/min), a przeznaczonej do termicznej modyfikacji powierzchni oklein naturalnych w postaci zarówno spojonych formatek, jak i oklejonych płytowych elementów meblowych. W koncepcji rozwiązania wykorzystywano energię cieplną wraz z jednoczesnym wywieraniem kompresji

(parametry w zakresie: temperatura powierzchni walca kalandrującego do wartości 350ºC, ciśnienie liniowe 3÷4 MPa). Asumptem podjęcia tych przedsięwzięć technicznych było dążenie w szczególności do zmniejszenia porowatości oklein, a także zwiększenia gładkości ich powierzchni oraz uatrakcyjnienia walorów dekoracyjnych. Finalnie zmierzano do ograniczenia powstawania plam klejowych (tzw. przebić klejowych) w procesach oklejania, a także uproszczenia bądź nawet wyeliminowania procesu szlifowania powierzchni oklein oraz uzyskania efektów ekonomicznych w zakresie kosztów materiałowych, w odniesieniu do zużycia papierów ściernych lub (i) lakierów. Należy zaznaczyć, iż w trakcie realizacji przedmiotowych przedsięwzięć, nie prowadzono jakichkolwiek badań, a efekty prac oceniała na podstawie wyłącznie obserwacji wizualnych grupa wyłonionych technologów z zakresu meblarstwa. Po kilku latach rzeczonych prób, zaniechano realizacji jakichkolwiek dalszych przedsięwzięć (Nawrat 1978, 1979, Kręglewski et al. 1979).

Na marginesie można nadmienić, iż spośród kilku innych metod termicznej modyfikacji drewna, różniących się rozwiązaniami technicznymi prowadzonych procesów, dokonano opracowań o charakterze aplikacji przemysłowych, np. *Le Bois Predure* (Francja, Kanada), *OHT* (Niemcy), *Plato* (Holandia), *Retified Wood* (Francja), *ThermoWood*® (Finlandia).

Z analizy danych literaturowych wynika, iż materiały drzewne używane do realizowanych dotychczas badań nad modyfikacją termiczną, przygotowywano w sposób dość dowolny, niekiedy bliżej nie sprecyzowany. Ta różnorakość sprawia, że niemożliwym jest dokonywanie uogólnionych konstatacji bądź pogłębionych porównań.

W kontekście analiz danych literaturowych i własnych doświadczeń zawodowych w roku 2010 w ówczesnej Katedrze Klejenia i Uszlachetniania Drewna UPP, podjęto pod merytorycznym kierownictwem autora niniejszego wniosku, szeroko zakrojone prace badawcze zmierzające do poznania wpływu parametrów modyfikacji STTM fornirów z wybranych gatunków drewna liściastego oraz iglastego na charakterystyki uzyskiwanych powierzchni, rozpatrywane zwłaszcza w aspekcie podłoża przeznaczonego do lakierowania. Jak już uprzednio nadmieniono, problematyka modyfikacji termicznej drewna, znalazła szerokie odzwierciedlenie w tematyce podejmowanych w bieżącej dekadzie badaniach w ramach kilku Akcji COST (FP 0904, FP1006, FP1303 oraz FP1407). Zainicjowane powyżej przedsięwzięcia badawcze realizował dobrany personalnie zespół, a w jego nurt

aktywnie włączył się zwłaszcza prof. P. Bekhta, realizując kilkukrotnie w naszej jednostce organizacyjnej, liczne wizyty w ramach misji naukowych STSM. Wymiernym efektem wykonanych badań były publikacje ogłoszone drukiem, zarówno w renomowanych wydawnictwach, w tym także z listy A MNiSW, jak i również referaty prezentowane na konferencjach zorganizowanych w kraju i za granicą oraz 1 patent międzynarodowy (Bekhta, Krystofiak, Lis 2015). Wybrane pozycje z tych dokonań, stanowią kanwę niniejszego osiągnięcia naukowego, będącego podstawą do ubiegania się wnioskodawcy o stopień naukowy doktora habilitowanego.

2.3. Cel i zakres pracy

Nadrzędnym celem przyświecającym podjętym badaniom przeprowadzonym w skali laboratoryjnej w ramach wskazanego osiągnięcia naukowego, było poznanie wpływu parametrów modyfikacji termicznej fornirów z wybranych rodzimych gatunków drewna (brzoza, buk, olcha oraz sosna), w realizacyjnym rozwiązaniu technicznym STTM, na kształtowanie się wytypowanych charakterystyk materiałowych ich powierzchni, odgrywających ważne znaczenie w szczególności w aspekcie podłoża do lakierowania. Zwieńczeniem realizowanych badań przyświecał ponadto cel aplikacyjny o ukierunkowaniu utylitarnym, związany z lakierowaniem powierzchni modyfikowanego drewna i uzyskaniem powłok o podwyższonym stopniu połysku.

W ramach rzeczonego cyklu prac zrealizowano następujące zadania naukowo-badawcze, którym przyświecały szczegółowe cele w zakresie poznania:

1. Wybranych cech materiałowych fornirów, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów chropowatości ich powierzchni
2. Walorów estetyczno-dekoracyjnych fornirów (barwa oraz stopień połysku)
3. Zwilżalności powierzchni fornirów
4. Możliwości lakierowania forniru z drewna brzozy w aspekcie walorów estetyczno-dekoracyjnych uzyskiwanych powłok, ze szczególnym uwzględnieniem ich stopnia połysku.

2.4. Prezentacja dokonań naukowo-badawczych

Materiał eksperymentalny

Generalnie rzecz biorąc, w poszczególnych pracach badawczych realizowano eksperymenty, stosując do nich, co należy podkreślić, przygotowane w jednej serii wyselekcjonowane forniry bez wad z następujących gatunków drewna: brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.), olcha czarna (*Alnus glutinosa* Gaertn.) oraz sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.). Forniry o założonej docelowej grubości 1,5 mm, przygotowano w operacji łuszczenia na skrawarce obwodowej wyrzynków drewna sklejkowego, oczyszczonych z kory i łyka oraz poddanych odpowiedniej obróbce hydrotermicznej zgodnie z procedurą przemysłową, w uwarunkowaniach technicznych Bydgoskich Zakładów Sklejek. Sklejka MULTI S.A. Następnie tak przygotowane forniry wysuszono do wilgotności (MC) 5±1%, po czym przycięto do wymiarów 300x300 mm, dostosowanych do powierzchni płyt prasy laboratoryjnej, w której prowadzono proces modyfikacji STTM. Do realizowanych eksperymentów, ogółem jednorazowo przygotowano z każdego gatunku drewna po ok. 500 powyższych formatek fornirów. Modyfikację STTM fornirów składowanych w komorze klimatyzacyjnej (MC 5±1%), wykonywano w prototypowej, jednopółkowej prasie hydraulicznej, wyposażonej w wypolerowane płyty grzejne. Proces modyfikacji TM fornirów w poszczególnych eksperymentach, prowadzono odpowiednio: w temperaturze 100, 150 (180) i 200 (210)°C, przy ciśnieniu jednostkowym prasowania 4 (3), 8 i 12 MPa, w czasie 4 (3) min. Bezpośrednio po przeprowadzeniu modyfikacji TM fornirów ich wilgotność kształtowała się na poziomie 1,5%. Przed przystąpieniem do wykonywania zaplanowanych w poszczególnych pracach eksperymentów, formatki sezonowano w zaciemnionym, klimatyzowanym laboratorium (temp. 20±2°C, RH 65±5%), w czasie 168 h, doprowadzając forniry do wilgotności równowagowej (EMC), kształtującej się generalnie rzecz biorąc na poziomie wartości 6±1%, uzależnionej zarówno od gatunku drewna, jak i parametrów prowadzenia modyfikacji. Dla fornirów referencyjnych (nie modyfikowanych próbek kontrolnych) określano gęstość (D) oraz MC, zaś dla modyfikowanych po zakończeniu procesu TM rejestrowano ubytek masy (ML) oraz także parametr EMC. Gęstość fornirów określono metodą stereometryczną. Dla próbek kontrolnych pomiary prowadzono przy wilgotności (MC) fornirów wynoszącej 5%, zaś dla fornirów modyfikowanych przy wartościach EMC. Wymiary liniowe próbek określano

suwmiarką elektroniczną z dokładnością 0,1 mm, prowadząc pomiary w 5 wybranych lokalizacjach. Masę próbek fornirów rejestrowano z dokładnością 0,001 g.

Ad 1.

Określenie wpływu parametrów modyfikacji fornirów na kształtowanie się wybranych cech materiałowych ich powierzchni

Publikacje:

- Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Sedliačik J., Novak I., Mamoňová M. (2017): Effect of short- thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers. Wood Material Science & Engineering 12 (1): 40-54. DOI 10.1080/17480272.2015.1009488, ISSN: 1748-0272.
- Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Mamoňová M., Pinkowski G., Lis B. (2014): Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers. Wood Material Science & Engineering 9 (4): 233-245**.** DOI 10.1080/17480272.2014.923042, ISSN: 1748-0272.

Dla fornirów z uwzględnionych gatunków drewna, modyfikowanych przy różnych parametrach procesu, oprócz wskaźników odpowiednio D, MC, EMC oraz ML, określono zmiany gęstości (DC), grubości (TC) oraz stopień kompresji (CR). Określano także kąt zwilżania (opis pomiarów zawarto w ad 3, w prezentacji badań z zakresu zwilżalności powierzchni fornirów). Wyszczególnione powyżej badania prowadzono bezpośrednio po zakończeniu modyfikacji oraz po składowaniu próbek w zaciemnionym, klimatyzowanym laboratorium, po upływie czasu odpowiednio 1, 4 i 24 h.

Forniry poddawano także badaniom topograficznym w ujęciu obrazowania mikrostruktury anatomicznej powierzchni, za pomocą wysokociśnieniowego mikroskopu elektronowego SEM VEGA TS, pracującego przy zasilaniu 16,7 kV. Powierzchnie styczne próbek, napylono warstewką złota i umieszczano w komorze pomiarowej. Dokonano także pomiarów wymiarów naczyń w fornirach z drewna liściastego.

Z kolei chropowatość powierzchni fornirów, badano zmodyfikowanym profilometrem stykowym Carl Zeiss ME-10, wyposażonym w igłę pomiarową o promieniu zaokrąglenia 2 μm i kącie wierzchołkowym 90º. Pomiary prowadzono na odcinkach pomiarowych 25,0 mm, przy prędkości posuwu końcówki pomiarowej

100 μm · s^{-1}. W ramach badań określono następujące parametry chropowatości powierzchni fornirów: Ra, Rz, Rq, Rp, Rv, Rsk i Rku.

Wykazano, m.in. że modyfikacja fornirów z uwzględnionych gatunków drewna powoduje nieodwracalne zmiany ich właściwości, zarówno w zakresie mikrostruktury anatomicznej, jak i w materiałowych charakterystyk powierzchni. Na podstawie analiz statystycznych dowiedziono, że zarówno gatunek drewna, temperatura modyfikacji, jak i ciśnienie prasowania fornirów wywierają wpływ, aczkolwiek zróżnicowany na kształtowanie się poszczególnych wskaźników materiałowych EMC, D, DC, ML, CR, TC oraz także rozpatrywanych parametrów chropowatości powierzchni. W formie graficznej przedstawiono i szczegółowo przeanalizowano zależności w zakresie wpływu parametrów modyfikacji fornirów na kształtowanie się przedmiotowych wskaźników w ujęciu zmian ilościowych. Stwierdzono m.in., że temperatura modyfikacji i ciśnienie prasowania fornirów, w jedynie bardzo nieznacznym stopniu wpływało na kształtowanie się wskaźnika ML. Konstatacja ta dowodzi, iż podczas modyfikacji fornirów przy przyjętych parametrach, nie następują istotne zmiany struktury fizykochemicznej drewna, związane z rozkładem składników chemicznych drewna i odszczepianiem się lotnych produktów. Z kolei wraz ze zwiększaniem wartości parametrów modyfikacji fornirów odnotowano wyraźne zmiany wskaźników odpowiednio DC, TC oraz CT. W wyniku oddziaływania energii cieplnej i ciśnienia prasowania, w układzie makroskopowym następowała kompresja w pierwszym rzędzie przestrzeni drewna wypełnionych powietrzem, co skutkowało istotnym wzrostem wartości gęstości, przy wydatnym zmniejszeniu porowatości i obniżeniu grubości fornirów. Na kształtowanie się gęstości modyfikowanych fornirów istotny wpływ wywierało przede wszystkim ciśnienie prasowania, a w następnej kolejności temperatura modyfikacji i rozpatrywany gatunek drewna.

Generalnie stwierdzono, że forniry z uwzględnionych gatunków drewna poddane modyfikacji STTM charakteryzują się stabilnymi właściwościami w zakresie analizowanych wskaźników w czasie 24 h od zakończenia procesu. Innymi słowy wskazuje to na nieodwracalny charakter zmian w strukturze zmodyfikowanych fornirów z wybranych gatunków drewna. Przy czym można podkreślić, że powierzchnie modyfikowanych fornirów podczas obserwacji wizualnych oraz w próbach dotyku opuszkami palców były wyraźnie gładsze i połyskliwe. Charakteryzowały się ponadto wzbogaconym rysunkiem drewna, bardziej zróżnicowanym zarówno w strefach wczesnej, jak i późnej dla poszczególnych przyrostów rocznych. Forniry

modyfikowane, w szczególności w temperaturze 200°C, upodobniły się w pewnym stopniu zarówno w zakresie struktury anatomiczno-makroskopowej drewna, barwy, jak i rysunku do niektórych gatunków drewna drzew egzotycznych, wzbogacając tym samym swoje walory estetyczno-dekoracyjne.

W badaniach zwilżalności powierzchni fornirów modyfikowanych w temperaturze odpowiednio 150 oraz 200°C, wystąpiły wyraźne znamiona w zakresie hydrofobizacji ich powierzchni.

W eksperymentach z wykorzystaniem mikroskopii SEM, dowiedziono że w procesie obwodowego skrawania wyrzynków drewna uzyskuje się forniry o nieregularnej i niejednorodnej strukturze powierzchni, z bardzo znaczącym udziałem zdeformowanych ścian komórkowych w tkance drzewnej. Występowały także dość liczne pory oraz mikropęknięcia. Wskutek modyfikacji TM istotnie zmieniła się morfologia forniru i następowało wyraźne ograniczenie objętości przestrzeni pustych, co w głównym stopniu kształtowało wartości wskaźników DC i CR. Wraz ze zwiększaniem temperatury modyfikacji i ciśnienia prasowania, powierzchnie fornirów stawały się coraz bardziej homogenne. Natomiast pory oraz mikropęknięcia ulegały stopniowemu scalaniu, spowodowanym oddziaływaniem ciepła uplastyczniającego tkankę drzewną oraz sił kompresji. W wyniku modyfikacji STTM fornirów, następowała także deformacja kształtu komórek (wyboczenie ścian komórkowych) w tkance drzewnej, poprzez zmiany strukturalne i propagację mikropęknięć ścian komórkowych, w submikroskopowym konglomeracie warstwowym. Ponadto w ścianach komórkowych libriformu, spełniającego mechaniczną funkcję wzmacniającą, także występowały dość liczne mikropęknięcia. Zmieniał się również kształt naczyń, wyrazem czego było obniżenie ich średnic, w powiązaniu z deformacją strukturalną oraz mikropęknięciami. I tak przykładowo w fornirach z drewna brzozy w próbkach kontrolnych uśrednione wartości średnicy naczyń wynosiły 106,71 µm. Po przeprowadzeniu zaś ich modyfikacji w temperaturze 200°C i przy ciśnieniu prasowania wynoszącym 4, 8 oraz 12 MPa, wartości średnic dla poszczególnych kompresji kształtowały się odpowiednio: 61,47; 50,05 oraz 30,05 µm.

W kontekście danych literaturowych wykazano, że modyfikowanie STTM fornirów z uwzględnionych gatunków drewna, w relatywnie krótkim czasie prowadzenia tego procesu ograniczonego do 4 min, powoduje w znaczącej mierze zbliżone zależności w zakresie kształtowania się właściwości materiałowych, jakie stwierdza się podczas długotrwałego procesu zagęszczania drewna litego.

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań generalnie stwierdzono, że powierzchnie modyfikowanych fornirów z testowanych gatunków drewna charakteryzowały się korzystnymi parametrami chropowatości. Dowiedziono, że temperatura modyfikacji wywiera decydujący wpływ na kształtowanie się chropowatości powierzchni fornirów. Wraz ze wzrostem temperatury, ale także i ciśnienia prasowania, odnotowano obniżanie się wartości parametrów chropowatości. Pewne zakłócenia od tej reguły stanowiło kształtowanie się parametru Rku, a niekiedy także Rsk. Także istotnymi czynnikami wpływającymi na chropowatość powierzchni fornirów są gatunek drewna i ciśnienie prasowania. Najniższe wartości chropowatości powierzchni odnotowano dla forniru z drewna sosny, a następnie w kolejności olchy, brzozy oraz buka. Średnie obniżenie wartości parametrów chropowatości odpowiednio Ra, Rz, Rq, Rp i Rv o 82-85%, stwierdzono dla forniru z drewna sosny już przy temperaturze modyfikacji 100°C i ciśnieniu prasowania 4 MPa. Dalsze zwiększanie wartości parametrów modyfikacji, w praktycznie niewielkim stopniu wpływało na zmiany rzeczonych wskaźników chropowatości. W formie przykładu można podać, iż najbardziej reprezentatywne z punktu widzenia chropowatości drewna jako podłoża do lakierowania, parametry Ra i Rz, dla fornirów z drewna sosny dla próbek referencyjnych wynosiły odpowiednio 5,61 oraz 27,51 µm, przy gęstości materiałowej 561 kg/m^3. Natomiast dla fornirów modyfikowanych (temperatura 200ºC przy zróżnicowanym ciśnieniu prasowania), parametr Ra kształtował się w zakresie wartości 0,50÷0,59 µm, a Rz 2,69÷3,03 µm. Gęstość zaś fornirów z drewna sosny modyfikowanego w temperaturze 200ºC, przy ciśnieniu prasowania 4 oraz 12 MPa wynosiła odpowiednio 652 i 967 kg/m^3. Przykładowo dla fornirów z drewna sosny przy zwiększeniu temperatury modyfikacji z wartości odpowiednio 100 do 200°C i ciśnienia prasowania z 4 do 12 MPa, stwierdzono obniżenie uśrednionych parametrów chropowatości Ra, Rz, Rq, Rp, Rp i Rv z poziomu 82 do 92%. Z kolei dla fornirów z drewna brzozy, buka oraz olchy zaobserwowano wyraźne obniżenie wartości parametrów chropowatości wraz ze zwiększaniem temperatury i ciśnienia prasowania. Na przykład dla fornirów z drewna brzozy przy zwiększeniu temperatury modyfikacji z wartości 100 do 200°C i ciśnieniu 4 MPa, uśrednione wartości parametrów odpowiednio Ra, Rz, Rq, Rp i Rv zmniejszyły się o ok. 40%. W analogicznych zaś relacjach, ale przy ciśnieniu prasowania 12 MPa, spadek analizowanych parametrów chropowatości był zdecydowanie mniej wyraźny, wynosząc jedynie ok. 10%. Innymi słowy, wpływ temperatury modyfikacji danego forniru w aspekcie obniżenia

chropowatości powierzchni jest bardziej istotny przy niższych wartościach ciśnienia prasowania. W temperaturze modyfikacji forniru wynoszącej 200°C, wartość ciśnienia prasowania ma znaczenie raczej drugoplanowe. Aczkolwiek stwierdzono, że w relacjach pomiędzy parametrami modyfikacji w ujęciu temperatura 100 oraz 150ºC, a ciśnienie prasowania, występują oddziaływania w pewnej mierze o charakterze synergistycznym. W aspekcie chropowatości powierzchni wykazano także, że najmniejszy wpływ w zakresie oddziaływania ciśnienia prasowania fornirów dla wszystkich gatunków drewna występuje w temperaturze modyfikacji 200ºC. W konsekwencji zatem zakładaną chropowatość powierzchni można generować w niższej temperaturze modyfikacji, ale przy wyższych wartościach ciśnienia prasowania bądź w wyższej temperaturze, ale niższym ciśnieniu. Szczególnie istotną redukcję chropowatości modyfikowanych powierzchni fornirów z wszystkich badanych gatunków drewna, stwierdzono dla parametru Rsk. Już w temperaturze modyfikacji 100°C i ciśnieniu prasowania 4 MPa, jego wartość obniżyła się w relacjach względnych odpowiednio: o 143% dla drewna sosny, 310% dla brzozy, 367% dla olchy i 600% dla buka. Rezultaty badań chropowatości modyfikowanych fornirów stanowiły kanwę, do opracowania założeń metodycznych dotyczących lakierowania powierzchni modyfikowanych fornirów z drewna brzozy.

Ad 2.

Badania wpływu parametrów modyfikacji fornirów na kształtowanie się barwy oraz stopnia połysku ich powierzchni

Publikacje:

- Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.** (2014): Colour in short-term thermo-mechanically densified veneer of various wood species. European Journal of Wood and Wood Products 72 (6): 785-797. DOI 10.1007/s00107-014-0837-1, ISSN: 0018-3768.
- **Krystofiak T.**, Bekhta P., Muszyńska M. (2014): Effect of temperature of thermo-mechanical treatment of pine wood (*Pinus sylvestris* L.) veneers upon gloss and wettability. Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW. For. and Wood Technol. (88): 126-129, ISSN: 1898-5912.
- Bekhta P., Proszyk S., Lis B., **Krystofiak T.** (2014) Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers. European Journal

of Wood and Wood Products 72 (6): 799-808. DOI 10.1007/s00107-014-0843-3, ISSN: 0018-3768.

Na powierzchniach próbek referencyjnych o wymiarach 140x100 mm, zaznaczono pola pomiarowe, w których to dokonywano odnośnych badań barwy, prowadząc je następnie także w tych samych miejscach dla fornirów poddanych modyfikacji. Badania barwy fornirów wykonano w systemie CIELab, stanowiącego matematyczną transformację przestrzeni modelu CIEXYZ. Pomiary przeprowadzono za pomocą kolorymetru Minolta Croma-Meter CR-300. Średnica głowicy czujnika pomiarowego wynosiła 6 mm. Jako źródło światła stosowano iluminant D65 (o temperaturze barwowej 6505K) i standardowego identyfikatora o kącie 10º. Pomiary prowadzono w zakresie promieniowania świetlnego VIS (400÷700 nm), rejestrując reflektancję w odstępach co 10 nm. W przyjętym systemie CIELab barwę opisują 3 składowe: achromatyczna L*- wyrażającą jasność (luminancja →0 wyraża stopień sczernienia, natomiast→100 określa stopień białości) oraz dwie składowe chromatyczne a i b, wyrażające odpowiednio następujące kolory a* (-a*=barwa zielona, +a*=barwa czerwona), b* (-b*=barwa niebieska, +b*=barwa żółta). Analizowano nasycenie barwy, które wyraża wskaźnik C* oraz odcień h* (w okręgu barwy h = 0 wyraża czerwień, natomiast h = 90 żółcień). Ponadto wyznaczano wskaźnik ΔE, wyrażający różnicę barwy. Pomiędzy poszczególnymi parametrami barwy analizowano zależności korelacyjne.

Generalnie rzecz biorąc, barwa fornirów z poszczególnych gatunków drewna poddanych modyfikacji uległa pociemnieniu, co stwierdzano także podczas obserwacji wizualnej ich powierzchni.

Ogólna analiza danych L*,a* oraz b* wykazała, że temperatura modyfikacji jest czynnikiem najbardziej istotnie wpływającym na kształtowanie się barwy powierzchni fornirów. W kolejności rejestrowane zmiany barwy fornirów uzależnione były także od gatunku drewna, a dopiero następnie od wartości ciśnienia prasowania. W kontekście powyższej sentencji dowiedziono, że różnice pomiędzy wartościami parametrów barwy zarejestrowanych dla próbek kontrolnych, w odniesieniu do modyfikowanych w temperaturze 100°C, przy ciśnieniu prasowania 4 MPa, nie były statystycznie istotne. Wraz z intensyfikowaniem wartości parametrów modyfikacji fornirów, składowa barwy L* i wskaźnik ΔL* ulegały zmniejszeniu dla testowanych gatunków drewna. Dla fornirów z wszystkich uwzględnionych gatunków drewna, przedmiotowe

zmiany barwy były najbardziej wymowne dla temperatury modyfikacji wynoszącej 200°C.

Stwierdzono zdecydowanie większe obniżenie wartości tego parametru pomiędzy temperaturą modyfikacji 150 a 200°C, aniżeli w odnośnych relacjach 100 i 150°C. W temperaturze modyfikacji 200°C i wartościach ciśnienia odpowiednio 4, 8 i 12 MPa, stwierdzono intensyfikowanie przedmiotowych zmian. przy maksymalnej temperaturze i ciśnieniu prasowania. Trendy tych zmian dla wartości składowej L* kształtowały się na poziomie zbliżonym, zawierając się w zakresie wartości 54÷56. Ciśnienie prasowania wywarło relatywnie niewielki wpływ na kształtowanie się składowych barwy dla poszczególnych gatunków drewna. Pewne tendencje odbiegające nieco od tej ogólnej reguły odnotowano przy prowadzeniu modyfikacji w temperaturze 200°C, w której to zarejestrowano niewielki wzrost intensywności pociemnienia barwy wraz z podwyższaniem wartości ciśnienia prasowania. W temperaturze modyfikacji 200°C najwyższe wartości w zakresie kształtowania się składowej barwy a* i wskaźnika Δa* odnotowano dla fornirów z drewna brzozy, buka i sosny, zaś najniższe dla olchy. Modyfikowane forniry z drewna brzozy, buka oraz sosny wykazały tendencję do zmian z przejściem tonalnym w ekspozycji barwy czerwonej, podczas gdy dla olchowego odpowiednio w zielonej. Godzi się nadmienić, że najwyższe relacje w temperaturze modyfikacji 200°C, odnotowano przy różnych wartościach ciśnienia prasowania (odpowiednio przy 4 MPa dla buka oraz olchy, 8 MPa sosny, zaś 12 MPa dla brzozy). Jednakże przejścia tonalne wskaźnika Δa* w ekspozycji barwy czerwonej dla powierzchni fornirów z drewna brzozy, buka i sosny osiągnęły wartości w kolejności odpowiednio 7,48; 4,78 i 4,01 i były zdecydowanie intensywniejsze aniżeli w przypadku olchy Δa* =-1,97). Ponadto, dla fornirów z drewna fornirów buka oraz sosny wyraźne przejście tonalne w ekspozycji barwy czerwonej występowało przy temperaturze modyfikacji 200°C, podczas gdy dla brzozy stwierdzono odnośne tendencje przy niższych temperaturach (100 i 150°C). Z kolei wartości składowej b* i wskaźnika barwy Δb* dla modyfikowanych fornirów z drewna buka i sosny wzrastały wraz z temperaturą modyfikacji i ciśnieniem prasowania, wykazując tendencję do zmian tonalnych w zakresie żółknięcia, co determinowane było pogłębiającym się nasyceniem. Z kolei wartości b* dla fornirów z drewna brzozy i olchy ulegały obniżeniu wraz ze wzrostem parametrów modyfikacji, wyrażając tendencję do zmian tonalnych powierzchni w kolorze niebieskim, któremu zarazem

towarzyszyło nieznaczne zmniejszeniem wartości nasycenia koloru. Największe zmiany w zakresie zmian tonalnych w zakresie koloru niebieskiego dla modyfikowanych w temperaturze 200°C fornirów z drewna olchy (Δb* = 13,91). Ogólnie rzecz biorąc, próbki modyfikowanych fornirów z drewna olchy charakteryzowały się najwyższymi wartościami całkowitej różnicy barwy ΔE*. W dalszej zaś kolejności plasowały się odpowiednio powierzchnie fornirów z drewna brzozy sosny i buka. Przy czym dla modyfikowanych fornirów z drewna olchy, znaczące wartości tego parametru rejestrowano we wszystkich temperaturach. Podczas gdy dla pozostałych gatunków drewna znaczące wartości wskaźnika ΔE* odnotowano dopiero przy temperaturze modyfikacji 200°C. Warto podkreślić, iż kształtowanie się wartości wskaźnika ΔE* w znaczącej mierze korespondowało ze zmianami parametru ΔL*. Dotyczyło ono zarówno parametrów modyfikacji, jak i gatunków drewna.

Metodami statystycznymi zbadano wszelkie możliwe korelacje pomiędzy uwzględnionymi parametrami barwy (L*, a*, b*, h, C* i ΔE*). Wysokie wartości współczynników regresji wskazują na korelację liniową w pierwszej kolejności między wskaźnikiem h, składową a*; ΔE* i L* oraz między C i składową b*, wskaźnikiem h i składową a* w odniesieniu do wszystkich gatunków drewna z pewnymi ograniczeniami dla fornirów z drewna olchy. Stwierdzono korelacje paraboliczne pomiędzy jasnością L* i nasyceniem C* a współrzędną chromatyczną b* dla fornirów bukowych, brzozowych i sosnowych. Podczas gdy wykładnicze korelacje między L* i C* oraz współrzędną chromatyczną b* stwierdzono dla forniru olchowego. Najlepszą korelację liniową dla testowanych gatunków drewna stwierdzono w relacji parametru L* i ΔE). Zaproponowano model matematyczny umożliwiający prognozowanie barwy modyfikowanych fornirów na podstawie wartości temperatury procesu i ciśnienia prasowania.

Badania stopnia połysku (GU) powierzchni fornirów oznaczono metodą fotoelektryczną aparatem PICO GLOSS model 503, prowadząc pomiary przy kątach padającego światła odpowiednio 20, 60 i 85°. Przeprowadzono po 10 pomiarów dla każdej próbki, 5 wzdłuż i 5 w poprzek przebiegu włókien drewna. Ponadto niniejsze pomiary uzupełniono badaniami struktury i morfologii powierzchni modyfikowanych i referencyjnych fornirów z poszczególnych gatunków drewna, stosując do tego celu skaningowy mikroskop elektronowy (VEGA TS 5130). W badaniach GU modyfikowanych fornirów z uwzględnionych gatunków drewna, stwierdzono że poprzez odpowiednie sterowanie temperaturą i ciśnieniem procesu można korygować

wartości tego parametru, determinującego właściwości estetyczne powierzchni. Wartości połysku rejestrowane dla rozpatrywanych gatunków drewna modyfikowanego ulegały zwiększeniu wraz ze wzrostem temperatury i ciśnienia prasowania, przy uwzględnionych kątach padania promieni świetlnych. Za pomocą wieloczynnikowej analizy ANOVA wykazano, że zarejestrowane różnice w kształtowaniu się wartości GU dla poszczególnych gatunków drewna oraz interakcje czynnikowe były statystycznie istotne. Pod względem kształtowania się GU, powierzchnie fornirów modyfikowanych gatunków drewna można uszeregować od najwyższej do najniższej wartości w kolejności następującej: sosna, brzoza, olcha oraz buk. W relacjach względnych wyrażonych w odniesieniu do próbek kontrolnych, najintensywniejsze zmiany analizowanego parametru wskutek modyfikacji odnotowano dla fornirów z drewna brzozy. Zarejestrowane wartości GU dla wszystkich rozpatrywanych wariantów w wzdłużnym kierunku przebiegu włókien w drewnie były wyższe aniżeli w poprzek włókien, co determinowane jest przede wszystkim strukturą anatomiczną danego gatunku drewna oraz profilem chropowatości powierzchni, które głównie powodują różnice w intensywności w szczególności rozpraszania padających promieni świetlnych podczas pomiarów. Sentencja ta została potwierdzona wynikami badań wykonanych za pomocą mikroskopii SEM. Opisano analizą regresji kształtowanie się korelacji pomiędzy wartościami pomiarów stopnia połysku, prowadzonych odpowiednio wzdłuż- oraz w poprzek przebiegu włókien w drewnie. Dla wszystkich badanych gatunków drewna wykazano korelację o przebiegu liniowym w pomiarach prowadzonych przy kątach padania promieni świetlnych odpowiednio 60 i 85º. W odniesieniu do fornirów z drewna sosny wykazano, że temperatura modyfikacji fornirów z drewna sosny (150,180 i 210ºC), przy stałym jednostkowym ciśnieniu prasowania 3 MPa i czasie 3 min, wywiera wpływ na kształtowanie się stopnia połysku powierzchni. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury modyfikacji, stopień połysku powierzchni fornirów nieznacznie zwiększył się. Forniry referencyjne oraz modyfikowane w temperaturze 150°C wykazały stopień połysku klasyfikowany w ocenie słownej jako mat. Z kolei zagęszczanie fornirów w temperaturze odpowiednio 180 i 210°C, zapewniło stopień połysku ich powierzchni klasyfikowany w ocenie słownej jako półmat. Z punktu widzenia metodologii badań stopnia połysku powierzchni fornirów z drewna sosny, zarówno w wersji mat, jak i półmat, technicznie uzasadnionym rozwiązaniem jest preferowanie w prowadzeniu pomiarów kątów padania światła o wartości 60° (ewentualnie 85°).

Ad 3.

Badania nad wpływem parametrów modyfikacji fornirów na zwilżalność ich powierzchni

Publikacje:

- **Krystofiak T.**, Bekhta P., Muszyńska M. (2014): Effect of temperature of thermo-mechanical treatment of pine wood (*Pinus sylvestris* L.) veneers upon gloss and wettability. Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW. For. and Wood Technol. (88): 126-129, ISSN: 1898-5912.
- Bekhta P., Proszyk S., **Krystofiak T.**, Lis B. (2015): Surface wettability of short-therm thermo-mechanically densified wood veneers. European Journal of Wood and Wood Products 73 (3): 415-417. DOI 101007/S00107-015-0902-4, ISSN: 0018-3768.
- Bekhta P., **Krystofiak T**. (2016): The influence of short-term thermo-mechanical densification on the surface wettability of wood veneers. Maderas-Cienc. Tecnol. 18 (1): 79-90. DOI 10.4067/S0718-221X2016005000008, ISSN: 0717-3644.

Statyczny kąt zwilżania powierzchni testowanych fornirów badano metodą osadzania kropli. Na styczne powierzchnie fornirów o wymiarach 140x100 mm, nanoszono manualnie za pomocą strzykawki chromatograficznej krople wody destylowanej o objętości 3,5 µl. Kąt zwilżania mierzono przy użyciu mikroskopu wyposażonego w głowicę goniometryczną, tak aby linia bazowa przechodziła przez punkt styku powierzchni kropli i forniru oraz stycznie do kropli. Pomiarów kąta dokonywano po upływie 5 s (niekiedy także 10 s), od momentu naniesienia cieczy zwilżającej na powierzchnię próbki. W celu zbadania potencjalnego starzenia się powierzchni fornirów modyfikowanych, wykonano również pomiary statycznego kąta zwilżania w funkcji czasu 1, 4 i 24 h upływającego od ich zagęszczenia. Ponadto dla każdej formatki fornirów rejestrowano metodą wagową masę, wyliczając na tej podstawie ubytek masy (ML) oraz wilgotność drewna (MC) bezpośrednio po przeprowadzeniu modyfikacji STTM. Uzyskane dane dla poszczególnych gatunków drewna analizowano metodami statystycznymi, w ujęciu zależności pomiędzy temperaturą modyfikacji, ciśnieniem prasowania oraz wartościami ML w aspekcie kształtowania się kąta zwilżania powierzchni fornirów. Uzyskane zależności prezentowano w formie tabelarycznej oraz graficznej. Dla niemodyfikowanych

fornirów badanych gatunków drewna, stwierdzono znaczące różnice w wartościach kąta zwilżania ich powierzchni. Można to przypisać zróżnicowanej strukturze anatomicznej (morfologicznej) powierzchni drewna, właściwościom fizykochemicznym danego gatunku oraz różnej chropowatości powierzchni. Powierzchnia sosny była bardziej hydrofobowa niż pozostałych gatunków drewna, o czym świadczy istotnie większy kąt zwilżania fornirów drewna sosny (54º) w porównaniu z próbkami olchy (28º), buka (25º) i brzozy (45º). Wyniki te plasowały się zgodnie z oczekiwaniami, ponieważ w porównaniu z pozostałymi gatunkami drewna, sosna charakteryzuje się wyższą zawartością składników ekstrakcyjnych, a niektóre z nich wykazują tzw. efekt wypacania (migrowania na powierzchnię już podczas suszenia fornirów), w postaci monowarstwy, wizualnie niedostrzegalnej. Ponadto drewno sosny zawiera więcej ligniny niż pozostałe gatunki drewna, co również może przyczyniać się do zmniejszenia zwilżalności. Z kolei w układzie porównawczym drewno gatunków liściastych zawiera znacznie wyższą zawartość hemiceluloz, które z uwagi na wykazywaną polarność wpływają korzystnie na zwilżalność.

Dla powierzchni modyfikowanych fornirów z rozpatrywanych gatunków drewna, stwierdzono że wartości kąta zwilżania w układzie porównawczym z próbkami kontrolnymi były wyższe. Ogólną tendencją było to, że wartości kąta zwilżania zwiększały się wraz ze wzrostem temperatury modyfikacji (z wyjątkiem temperatury 100°C) i ciśnienia prasowania. Na podstawie analiz statystycznych wykazano m.in., że temperatura wywierała większy wpływ na kształtowanie się kąta zwilżania aniżeli ciśnienie prasowania. Z kolei wyższa temperatura modyfikacji powodowała wyższe wartości kąta zwilżania dla wszystkich uwzględnionych w badaniach gatunków drewna. Najwyższe wartości kąta zwilżania powierzchni odnotowano dla fornirów modyfikowanych w temperaturze 200°C. W ujęciu względnym wzrost wartości kąta zwilżania przy zwiększeniu temperatury do 200°C, wyniósł odpowiednio 179,8% dla drewna olchy, 158,7 % dla buka i 63,3% dla brzozy. W identycznych warunkach wzrost kąta zwilżania dla drewna sosny wynosił jedynie 17,5%. Zarejestrowane różnice w wartościach kąta zwilżania dla uwzględnionych w badaniach gatunków drewna były statystycznie istotne. Pod względem wartości kąta zwilżania dla poszczególnych gatunków drewna można je usystematyzować od najwyższej wartości do najniższej w kolejności następującej: sosna, brzoza, olcha i buk. Dla poszczególnych gatunków drewna stwierdzono liniową korelację kąta zwilżania, ciśnienia prasowania i parametru ML. Aczkolwiek nie można wskazać na dominujący wpływ jednego z analizowanych

czynników. Wpływ temperatury modyfikacji na kształtowanie się wartości kąta zwilżania był statystycznie najbardziej wyraźny, a najwyższe wartość kąta odnotowano dla temperatury modyfikacji 200°C. Istotny statystycznie był również wpływ ciśnienia prasowania na kąt zwilżania powierzchni fornirów, z najwyższymi wartościami przy 12 MPa. Nie stwierdzono jednakże istotnych różnic między poszczególnymi wartościami ciśnienia prasowania. Najbardziej zaawansowane korelacje o przebiegu liniowym uzyskano dla zależności kąta zwilżania i parametru ML. Skonstatowano także, że w trakcie modyfikacji TM, zmiany zachodzące w składzie chemicznym i morfologicznym poszczególnych gatunków drewna mają dominujące znaczenie w kształtowaniu się wartości kąta zwilżania ich powierzchni.

Analiza kształtowania się wartości kąta zwilżania powierzchni fornirów z uwzględnionych w badaniach gatunków drewna w funkcji czasu upływającego od przeprowadzenia modyfikacji STTM wykazała, że efekt zagęszczania jest procesem stabilnym w czasie co najmniej 24 h. Innymi słowy oznacza to, że powierzchnia modyfikowanych fornirów nie wykazuje podatności na procesy dezaktywacji. Konstatacja ta stanowi istotny czynnik z punktu widzenia potencjalnych zastosowań przemysłowych przedmiotowego sposobu modyfikacji.

Na podstawie kryterialnych założeń adsorpcyjnej teorii adhezji oraz uzyskanych wyników pomiarów wartości kąta zwilżania dla fornirów z drewna sosny wyznaczono swobodną energię powierzchniową (γ_S) wraz z udziałem jej składowych dyspersyjnej (γ_S^d) i polarnej (γ_S^p). Na podstawie tych badań m.in. stwierdzono, że temperatura modyfikacji fornirów z drewna sosny (150, 180 i 210ºC), przy stałych jednostkowym ciśnieniu prasowania 3 MPa i czasie 3 min, wywiera znaczący wpływ na kształtowanie się właściwości hydrofobowych powierzchni. Wraz z podwyższaniem temperatury modyfikacji następowało obniżanie wartości kąta zwilżania, a zarazem kształtowania się parametru γ_S. Dowiedziono, że wartość γ_S wynosząca dla fornirów niemodyfikowanych ok. 65 mJ/m^2, po ich modyfikacji prowadzonej w temperaturze 210ºC kształtowała się na poziomie 38 mJ/m^2. Stwierdzone zmiany spowodowane zostały obniżaniem wartości składowej γ_S^p , która dla fornirów niemodyfikowanych wynosiła ok. 39 mJ/m^2, zaś dla modyfikowanych w temperaturze 210ºC obniżyła się do wartości ok. 6 mJ/m^2. Natomiast składowa γ_S^d wynosząca dla fornirów referencyjnych 26 mJ/m^2, już w temperaturze modyfikacji 150ºC zwiększyła się do wartości ok. 32 mJ/m^2, nie ulegając następnie większym zmianom dla fornirów modyfikowanych w temperaturze odpowiednio 180 i 210ºC. W kontekście uzyskanych rezultatów badań,

warto podkreślić, iż powierzchnia zmodyfikowanych fornirów, spełnia kryterium akceptowalnej adhezji z punktu widzenia kształtowania się wartości parametru LSE (Low Surface Energy), w którym przyjmuje się wymagalną wartość γ_S >32 mJ/m^2.

Ad 4.

Badania wpływu parametrów modyfikacji fornirów z drewna brzozy zastosowanego do oklejania powierzchni płyt MDF w aspekcie procesu lakierowania i kształtowania się stopnia połysku uzyskiwanych wykończeń. Ocena wpływu liczby warstw i jednostkowego zużycia lakieru.

Publikacja:

Bekhta P., **Krystofiak T.** Proszyk S., Lis B. (2018): Surface gloss of lacquered medium density fibreboard panels veneered with thermally compressed birch wood. Progress in Organic Coatings 117: 10-19. DOI 10.1016/j.porgcoat.2017.12.020, ISSN: 0018-3768

W badaniach określono wpływ parametrów modyfikacji, strona górna i dolna fornirów (odpowiednio: strona licowa, a więc górna-prawa; dolna-lewa), liczby warstw lakieru i ilości naniesienia na wartość stopnia połysku (GU) uzyskiwanych powłok lakierowych. Dwustronne oklejanie powierzchni płyt MDF fornirami z drewna brzozy, przeprowadzono w dwóch wariantach (prawa i lewa strona). Do oklejania użyto zmodyfikowanego kleju PVAC na bazie kopolimeru EVA, który nanoszono na powierzchnię płyty MDF wałkiem w ilości 180 g/m^2. Oklejanie powierzchni wykonywano w jednopółkowej prasie hydraulicznej, w temperaturze 20±1ºC, ciśnieniu jednostkowym 0.8 MPa, w czasie prasowania 3 min. Oklejone elementy płytowe sezonowano w klimatyzowanym laboratorium (temp. 20±2°C, RH 65±5%), w czasie 168 h. Należy podkreślić, iż mając na względzie korzystne parametry chropowatości powierzchni modyfikowanych fornirów, nie prowadzono obróbki szlifowaniem, przed aplikowaniem lakieru. W przypadku zaś fornirów nie modyfikowanych koniecznym było przeprowadzenie operacji szlifowania ich powierzchni, które wykonano papierami ściernymi w sekwencji numeracji 120 i 180. Na powierzchnie oklejonych fornirami płyt MDF, nakładano lakier alkidowo-uretanowany w sposób manualny za pomocą wałka, w zróżnicowanych ilościach, wynoszących zgodnie z przyjęta hipotezą badawczą, odpowiednio 50, 75 i 100 g/m^2, w postaci 1, 2 oraz 3 warstw. Godzi się podkreślić, iż producent lakieru zaleca jego nakładanie, w zależności od rodzaju podłoża w ilości łącznej do 300 g/m^2, w liczbie 3 warstw, z międzyoperacyjnym

szlifowaniem powłoki pierwszej warstwy. W przypadku forniru niemodyfikowanego powłoki o akceptowalnych właściwościach uzyskiwano przy precyzyjnie wykonanym szlifowaniu podłoża i naniesieniu lakieru w ilości co najmniej 200 g/m^2. Wymalowania i powłoki lakierowe suszono w klimatyzowanym laboratorium, po czym sezonowano je w czasie 168 h i przystępowano do oceny wizualnej walorów estetyczno-dekoracyjnych oraz pomiarów stopnia połysku.

Badania stopnia połysku powłok lakierowych oznaczono metodą fotoelektryczną, aparatem PICO GLOSS model 503, prowadząc pomiary przy kątach padającego światła odpowiednio o wartościach 20, 60 i 85°. Przeprowadzono po 10 pomiarów dla każdej powłoki lakierowej, 5 wzdłuż- i 5 w poprzek przebiegu włókien w drewnie. Przeprowadzono także ocenę wyglądu powłok metodą wizualną, okiem nie uzbrojonym prowadząc obserwacje z odległości 250 mm, w świetle naturalnym, padającym pod kątem ostrym.

Generalnie rzecz biorąc powłoki lakierowe uformowane na fornirach modyfikowanych, o powierzchni nie poddanej obróbce szlifowaniem, wykazały w układzie relatywnym zdecydowanie wyższe walory estetyczno-dekoracyjne. Uzyskiwane wykończenia charakteryzowały się jednorodnością, nie wykazując jakichkolwiek wad powierzchni.

Analiza statystyczna, dotycząca wpływu uwzględnionych w badaniach czynników na kształtowanie się wartości parametru GU powłok lakierowych, wykazała że zależy on w istotnym stopniu od licznych rozpatrywanych w pracy zmiennych czynników. Oczywiście w oddziaływaniach tych, nie można pominąć relacji o przebiegu synergistycznym bądź antagonistycznym. Na podstawie rezultatów analizy wariancji wykazano, że kształtowanie się wartości GU powłok w pierwszej kolejności determinują parametry modyfikacji forniru, generujące zarazem barwę, ilość nałożonego lakieru i związaną z tym liczbę warstw, a także, kierunek przebiegu włókien w drewnie oraz kąt padania promieni świetlnych podczas pomiarów wartości GU. Przykładowo analizowany parametr ulegał nieznacznemu obniżeniu wraz ze wzrostem temperatury modyfikacji fornirów z wartości 150 do 180°C, zaś jej zwiększenie do 210°C skutkowało podwyższaniem się wartości GU. Powierzchnia fornirów poddanych kompresji termicznej charakteryzowała się jak już uprzednio wykazano, wyróżniającą homogennością determinowaną korzystnym z punktu widzenia lakierowania profilem chropowatości, ograniczonym wpływem anatomicznej budowy drewna na nierówności strukturalne oraz także na stopień połysku. Te cechy modyfikowanych fornirów

ograniczały zjawisko wnikania lakieru w drewno, umożliwiając zarazem obniżanie ilości jego nakładania. Ponadto wspomniane charakterystyki materiałowe, wydatnie wpłynęły na zjawisko odbijania bądź rozpraszania promieni świetlnych oraz dyfrakcji przez transparentną warstwę zestalonego polimeru stanowiącego powłokę lakierową, co także odgrywa istotną rolę na uzyskiwane w pomiarach wartości GU. Homogeniczność powierzchni modyfikowanych fornirów spowodowała to, iż rejestrowane wartości GU dla uzyskiwanych powłok lakierowych, charakteryzowały się bardzo znikomym rozrzutem. Wartości GU powłok lakierowych uformowanych zarówno na fornirze modyfikowanym, jak i referencyjnym, określane wzdłuż przebiegu włókien w drewnie były wyższe niż w poprzek włókien. I tak wartości GU powłok lakierowych ulegały zwiększeniu wraz ze wzrostem zarówno ilości nakładanego lakieru, jak i liczby naniesionych warstw.

Dla powłok lakierowych uformowanych na fornirach referencyjnych zarejestrowano zróżnicowania wartości GU w relacji prawa-lewa strona forniru, dotyczących zarówno pomiarów prowadzonych wzdłuż-, jak i w poprzek przebiegu włókien w drewnie. Jednak generalnie rzecz biorąc wpływ strony forniru był dość znikomy. Natomiast w przypadku fornirów modyfikowanych powłoki uformowane na stronie prawej bądź lewej wykazywały niemal identyczne walory estetyczno-dekoracyjne.

2.5. Podsumowanie

Na podstawie rezultatów przeprowadzonych prac badawczych do zasługujących na uwagę osiągnięć zaliczyć można następujące konstatacje o charakterze zarówno poznawczym, jak i także aplikacyjnym.

Scharakteryzowano w ujęciu ilościowym, w relacjach zależności przyczynowo-skutkowych, zagadnienie wpływu parametrów modyfikacji STTM fornirów z wybranych gatunków drewna na kształtowanie się rozpatrywanych wskaźników materiałowych obejmujących: wilgotność równowagową, gęstość, ubytki masy próbek, stopień kompresji oraz zmiany grubości, a także rozpatrywane parametry chropowatości powierzchni. Na podstawie ubytków masy, wykazano, że podczas modyfikacji fornirów przy założonych parametrach, nie następują istotne zmiany związane z rozkładem składników chemicznych drewna i odszczepianiem się bądź emisją produktów lotnych. Na kształtowanie się gęstości modyfikowanych fornirów, istotny wpływ wywierało przede wszystkim ciśnienie prasowania, a w następnej

kolejności temperatura modyfikacji i rozpatrywany gatunek drewna. W badaniach z zastosowaniem mikroskopii SEM dowiedziono, że wraz ze zwiększaniem temperatury modyfikacji i ciśnienia prasowania, powierzchnie fornirów stawały się coraz bardziej homogenne. Natomiast pory oraz mikropęknięcia ulegały stopniowemu scalaniu, spowodowanym oddziaływaniem ciepła uplastyczniającego tkankę drzewną oraz sił kompresji. W wyniku modyfikacji STTM fornirów, następowała deformacja kształtu komórek (wyboczenie ścian komórkowych) w tkance drzewnej, poprzez zmiany strukturalne i propagację mikropęknięć ścian komórkowych, w submikroskopowym konglomeracie warstwowym. Ponadto w ścianach komórkowych libriformu, spełniającego mechaniczną funkcję wzmacniającą, także występowały dość liczne mikropęknięcia. Zmieniał się również kształt naczyń, wyrazem czego było obniżenie ich średnic, w powiązaniu z deformacją strukturalną oraz mikropęknięciami. I tak przykładowo w fornirach z drewna brzozy w próbkach kontrolnych uśrednione wartości średnicy naczyń wynosiły 106,71 µm. Po przeprowadzeniu zaś ich modyfikacji w temperaturze 200°C i przy ciśnieniu prasowania wynoszącym 4, 8 oraz 12 MPa, wartości średnic dla poszczególnych kompresji kształtowały się odpowiednio: 61,47; 50,05 oraz 30,05 µm.

Dowiedziono, że powierzchnie modyfikowanych fornirów z testowanych gatunków drewna charakteryzowały się korzystnymi parametrami chropowatości. Najbardziej reprezentatywne z punktu widzenia chropowatości drewna jako podłoża do lakierowania, parametry Ra i Rz, dla fornirów z drewna sosny dla próbek referencyjnych wynosiły odpowiednio 5,61 oraz 27,51 µm, przy gęstości materiałowej 561 kg/m^3. Natomiast dla fornirów modyfikowanych (temperatura 200ºC przy zróżnicowanym ciśnieniu prasowania), parametr Ra kształtował się w zakresie wartości 0,50÷0,59 µm, a Rz 2,69÷3,03 µm.

W ujęciu jakościowo-ilościowym parametrów i wskaźników w systemie kolorystycznym CIELab, opisano kształtowanie się barwy modyfikowanych STTM fornirów. Wykazano, że temperatura modyfikacji fornirów jest czynnikiem najbardziej istotnie wpływającym na kształtowanie się barwy powierzchni. W kolejności rejestrowane zmiany barwy fornirów uzależnione były także od gatunku drewna, a dopiero następnie od wartości ciśnienia prasowania. Wraz z intensyfikowaniem parametrów modyfikacji, forniry z drewna brzozy, buka oraz sosny wykazały tendencję do zmian z przejściem tonalnym w ekspozycji barwy czerwonej, podczas gdy dla drewna olchy odpowiednio w zielonej. Zaproponowano model matematyczny

umożliwiający prognozowanie barwy modyfikowanych fornirów na podstawie wartości temperatury procesu i ciśnienia prasowania.

Wykazano, że, powierzchnie fornirów modyfikowanych gatunków drewna pod względem kształtowania się stopnia połysku GU można uszeregować od najwyższej do najniższej wartości w kolejności następującej: sosna, brzoza, olcha oraz buk.

Powierzchnie modyfikowanych fornirów pod względem wartości kąta zwilżania dla poszczególnych gatunków drewna można usystematyzować od najwyższej wartości do najniższej w kolejności następującej: sosna, brzoza, olcha i buk. Wraz z podwyższaniem temperatury modyfikacji fornirów z drewna sosny następowało obniżanie wartości kąta zwilżania, a zarazem kształtowania się wartości swobodnej energii powierzchniowej (γ_S). Dowiedziono, że wartość γ_S wynosząca dla fornirów niemodyfikowanych ok. 65 mJ/m^2, po ich modyfikacji prowadzonej w temperaturze 210ºC kształtowała się na poziomie 38 mJ/m^2. Stwierdzone zmiany spowodowane zostały obniżaniem wartości składowej (γ_S^p), która dla fornirów niemodyfikowanych wynosiła ok. 39 mJ/m^2, zaś dla modyfikowanych w temperaturze 210ºC obniżyła się do wartości ok. 6 mJ/m^2. Natomiast składowa dyspersyjna (γ_S^d), wynosząca dla fornirów referencyjnych 26 mJ/m^2, już w temperaturze modyfikacji 150ºC zwiększyła się do wartości ok. 32 mJ/m^2, nie ulegając następnie większym zmianom dla fornirów modyfikowanych w temperaturze odpowiednio 180 i 210ºC.

Wykazano, że modyfikowany STTM fornir z drewna brzozy stanowi doskonały materiał do oklejania elementów płytowych i uszlachetniania ich powierzchni lakierem. Powierzchnia zmodyfikowanego forniru zapewnia wysokie walory estetyczno-dekoracyjne jako podłoża do lakierowania, stwarzając znaczące możliwości w zakresie kształtowania barwy, rysunku drewna i stopnia połysku, a także uzyskiwania powłok bez wad o interesujących cechach zewnętrznych. W przypadku konieczności pociemnienia barwy fornirów ich modyfikacja, może w niektórych rozwiązaniach wyeliminować operację barwienia drewna (bejcowania) przed lakierowaniem. Procesy barwienia generują określone koszty, w pierwszym rzędzie dotyczące urządzeń przemysłowych i ich eksploatacji, energii oraz barwników, a także logistyki. Modyfikowane forniry charakteryzowały się zasygnalizowanymi uprzednio zaletami materiałowymi m.in. homogennością determinowaną korzystnym z punktu widzenia lakierowania profilem chropowatości, ograniczonym wpływem anatomicznej budowy drewna na nierówności strukturalne, wyższą gęstością, niższą porowatością oraz także

wyższym stopniem połysku. Modyfikacja STTM umożliwiła wyeliminowanie procesu szlifowania powierzchni forniru, wykonywanego powszechnie w ramach procesu przygotowania podłoży z drewna do lakierowania. Proces szlifowania generuje wymierne koszty technologiczne związane z: eksploatacją urządzeń przemysłowych, (szlifierek, transporterów), zużyciem energii, zakupem papierów ściernych, oraz z systemami odpylania i utylizacji pyłów szlifierskich. Modyfikowane STTM forniry stwarzają znaczące możliwości w zakresie opracowywania innowacyjnych technologii lakierowania, zmierzających do minimalizowania liczby warstw i ilości nakładanych wyrobów, z jednoczesnym uzyskiwaniem powłok o wysokich walorach estetyczno-dekoracyjnych i podwyższonym stopniu połysku. Na powierzchnie modyfikowanego forniru z drewna brzozy, nie poddawanego obróbce szlifowaniem, nakładano lakier w ilościach 50, 75 i 100 g/m^2, w postaci 1, 2 bądź 3 warstw, uzyskując każdorazowo powłoki o zadawalających doznaniach estetyczno-dekoracyjnych. Podczas gdy w przypadku forniru niemodyfikowanego, powłoki o akceptowalnych właściwościach, otrzymywano przy precyzyjnie wykonanym szlifowaniu podłoża i naniesieniu lakieru w ilości co najmniej 200 g/m^2. Zasygnalizowana kwestia jednoznacznie dowodzi, iż lakierowanie powierzchni modyfikowanego STTM forniru brzozowego, generuje w poszczególnych operacjach zaakcentowane pokrótce efekty ekonomiczne w odniesieniu do urządzeń przemysłowych, energii, logistyki, a przede wszystkim kosztów materiałowych papierów ściernych oraz lakierów, a także rozwiązywania problemów istotnych z punktu widzenia ochrony środowiska. Mniejsze ilości nakładanego lakieru na uszlachetnianą powierzchnię, skutkują także ograniczeniem emisji lotnych składników organicznych (TVOC) w procesach wysychania wymalowań, a także mniejszym ilościami uciążliwych odpadów lakierniczych, wymagających utylizacji, co także przyczynia się do wzrostu kosztochłonności.

Proces modyfikacji STTM fornirów z drewna jest przedsięwzięciem także kosztochłonnym, związanym w pierwszej rzędzie z zakupem i eksploatacją pras, energią oraz logistyką. W przedstawionym jednakże powyżej kontekście modyfikację fornirów w rozwiązaniu STTM, należy uznać jako kierunek rozwojowy, mogący znaleźć zastosowania w skali przemysłowej.

2.6. Literatura

Ahmed S. A., Morén T., Hagman O., Cloutier A., Fang C.-H., Elustondo D. (2013): Anatomical properties and process parameters affecting blister/blow formation in densified European aspen and downy birch sapwood boards by thermo-hygro-mechanical compression. J. of Materials Science 48 (24): 8571–8579.

Antikainen T., Paajanen O., Rautkari L., Kutnar A., Kamke F. A., Hughes M. (2014): Simultaneous drying and densification of silver birch (Betula pendula L.) veneers: Analysis of morphology, thickness swelling, and density profile. Wood Science and Technology 48 (2): 325–336.

Arruda L., Del Menezzi C. H. S. (2013): Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers. International Wood Products Journal 4 (4): 217–224.

Bekhta P., Marutzky R. (2007): Reduction of glue consumption in the plywood production by using previously compressed veneer. Holz Roh-Werkst 65: 87–88.

Bekhta P., Hiziroglu S., Shepelyuk O. (2009): Properties of plywood manufactured from compressed veneer as building material. Materials and Design 30: 947–953.

Bekhta P., Krystofiak T., Lis B. (2015): СПОСБ ЛИЧКУВАННЯ ДЕРЕВИННИХ КОМПОЗИЩЙНИХ МАТЕРІАЛВ. No 97761 z dnia 15.04.2015 r. (Urząd Patentowy w Kijowie).

Bekhta P., Niemz P., Sedliacik J. (2012): Effect of pre-pressing of veneer on the glueability and properties of veneer-based products. Eur. J. Wood Prod. 70: 99–106.

Blomberg J., Persson B., Bexell U. (2006): Effects of semiisostatic densification on anatomy and cell shape recovery on soaking. Holzforschung, 60 (3): 322–331.

Borysiuk P., Mamiński M. (2007): Modyfikacja drewna - stan obecny i perspektywy rozwoju. Biuletyn Informacyjny OBRPPDP w Czarnej Wodzie 47 (3-4): 150-161.

Borysiuk P., Mamiński M., Grześkiewicz M., Parzuchowski P., Mazurek A. (2007): Thermally modified wood as raw material for particleboard manufacture. Procc. The Third European Conference on Wood Modification. 15-16th October-Cardiff U.K. Poster session 2: 227-230.

Bulian F., Graystone J. (2009): Wood coatings. Theory and practice. Elsevier Science, Amsterdam: 1-319.

Candan Z., Hiziroglu S., McDonald A. G. (2010): Surface quality of thermally compressed Douglas fir veneer. Materials and Design 31: 3574–3577.

Candan Z., Korkut S., Unsal O. (2013): Effect of thermal modification by hot pressing on performance properties of paulownia wood boards. Industrial Crops and Products 45: 461–464.

Coulthard S. (2017): The little book of building fires. ANIMA Copyright© Sally Coulthard: 1-203.

Diouf P.N., Stevanovic T., Cloutier A., Fang C.-H., Blanchet P., Koubaa A., Mariotti N. (2011): Effects of thermo-hygro-mechanical densification on the surface characteristics of trembling aspen and hybrid poplar wood veneers. Appl. Surf. Sci. 257: 3558–3564.

Doczekalska B. (2010): Badania nad modyfikacją drewna w aspekcie jego wykorzystania jako napełniacza polipropylenu. Rozprawy naukowe 416. Wydawnictwo UP w Poznaniu:1-110

Fang C.-H., Mariotti N., Cloutier A., Koubaa A., Blanchet P. (2012): Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. Eur. J. Wood Prod. 70 (1 –3): 155–163.

Glijer L., Grześkiewicz M. (2009): Suszenie, parowanie I termiczna modyfikacja drewna. Poradnik. Wyd. Wieś Jutra.

Hill C. (2006): Wood modification: Chemical, thermal and other processes. J. Willey&Sons Press:1-260.

Kamke F. A. (2006): Densified radiate pine for structural composites. Maderas Ciencia y Tecnologia 8 (2): 83–92.

Kokociński W. (2002): Anatomia drewna. Wydawnictwo-Drukarnia *PRODRUK* Poznań: 1- 162.

Kokociński W. (2004): Drewno. Pomiary właściwości fizycznych i mechanicznych. Wydawnictwo-Drukarnia *PRODRUK* Poznań: 1-201.

Kollmann F. (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag Berlin/München: 1-1050.

Kręglewski W., Malujda I., Nawrat G., Pawlęty T. (1979): Urządzenia do przemysłowego ulepszania oklein i zaokleinowanych płyt wiórowych walcowaniem. Przemysł Drzewny 30 (12): 15-17.

Krzysik F. (1974): Nauka o drewnie. PWN Warszawa: 1- 653.

Kutnar A., Kamke F. A., Petrić M., Sernek M. (2008): The influence of viscoelastic thermal compression on the chemistry and surface energetics of wood. Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects 329 (1–2): 82–86.

Kutnar A., Kamke F. A., Sernek M. (2009): Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. Wood Science and Technology 43 (1–2): 57–68.

Liu H., Kamke F. A., Guo K. (2013): Integrated drying and thermo-hydro-mechanical modification of western hemlock veneer. Eur. J. Wood Prod. 71 (2): 173–181.

Navi P., Girardet F. (2000): Effects of thermo-hydromechanical treatment on the structure and properties of wood. Holzforschung 54 (3): 287–293.

Navi, P., Heger, F. (2004): Combined densification and thermo-hydro-mechanical processing of wood. MRS Bull. 29 (5): 332–336.

Nawrat G. (1978): Uszlachetnianie oklein wybranych gatunków drewna w warunkach przemysłowych. Przemysł Drzewny 29 (9): 12-15.

Nawrat G (1979):Uszlachetnianie zaokleinowanych płyt wiórowych przez walcowanie w warunkach przemysłowych. Przemysł Drzewny 30 (2): 9-10.

Norimoto M., Grill J. (1993): Structure and properties of chemically treated woods. Current Japanese Materials Research. Recent Research on Wood and Wood-Based Materials: 11: 135-154.

Pecina H,. Paprzycki O. (1997): Pokrycia lakierowe na drewnie. Parametry i oddziaływania. PWRiL 1-167.

Proszyk S. (1999): Technologia tworzyw drzewnych. Cz. 2. Wykończanie powierzchni. WSiP S.A. Warszawa: 1-375.

Rautkari L., Laine K., Kutnar A., Medved S., Hughes M. (2013): Hardness and density profile of surface densified and thermally modified Scots pine in relation to degree of densification. Journal of Material Science 48: 2370–2375.

Reinprecht L. (2008): Ochrana dreva. TU Zvolen: 1-453.

Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz H. (1998): Characterisation of thermally modified wood molecular reasons for wood performance improvement. Holz als Roh u. Werkstoff 56: 149-153.

Tu D., Su X., Zhang T., Fan W., Zhou Q. (2014): Thermo-mechanical densification of Populus tomentosa var. tomentosa with low moisture content. BioResources 9 (3): 3846–3856.

Unsal, O., Candan, Z. (2008): Moisture content, vertical density profile and Janka hardness of thermally compressed pine wood panels as a function of press pressure and temperature. Drying Technology 26 (9), 1165–1169.

Unsal, O., Candan, Z., Korkut, S. (2011): Wettability and roughness characteristics of modified wood boards using a hot-press. Industrial Crops and Products 34 (3): 1455–1457.

Van Acker J., Hill C. (2003): Proceeding of the First European Conference on Wood Modification. 3-4 April 2003, Ghent University - Belgium: 1-414

Wang J., Cooper, P.A. (2005): Effect of grain orientation and surface wetting on vertical density profiles of thermally compressed fir and spruce. Holz als Roh- und Werkstoff 63 (6): 397–402.

Welzbacher C.R., Wehsener J., Rapp A.O., Haller P. (2008): Thermomechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce (Picea abies Karst) in industrial scale—dimensional stability and durability aspects. Holz als Roh- und Werkstoff 66: 39–49.

Yoshinara H., Tsunematsu S. (2007): Bending and shear properties of compressed Sitka spruce. Wood Science and Technology 41 (2): 117–131.

3. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO – BADAWCZYCH

Obszarem mojej działalności naukowo-badawczej jest szeroko rozumiana problematyka klejenia i uszlachetniania powierzchni drewna oraz tworzyw lignocelulozowych. Moje zainteresowania naukowe mają charakter interdyscyplinarny i obejmują badania eksperymentalne o charakterze przede wszystkim poznawczym, ale także metodycznym oraz utylitarnym.

W roku 1994 r. wraz z podjęciem zatrudnienia w ówczesnej Katedrze Klejenia i Uszlachetniania Drewna, włączyłem się w nurt przedsięwzięć naukowo-badawczych prowadzonych w tej jednostce w ramach działalności statutowej. W początkowym okresie koncentrowałem się w znaczącej mierze na badaniach możliwości klejenia oraz uszlachetniania powierzchni wybranych gatunków drewna pozyskiwanych z drzew szybkorosnących w uwarunkowaniach przyrodniczych naszego kraju. Następnie w latach 1997-2000 realizowałem dość szeroko zakrojone badania nad korygowaniem podatności na klejenie materiałów trudno sklejalnych stosowanych w drzewnictwie, ze szczególnym uwzględnieniem rangi środków proadhezyjnych w procesach ich łączenia. W tym też czasie nawiązałem współpracę z Zakładem Klejenia Drewna ITD w Poznaniu, Katedrą Nabytku a Drevarskych Vyrobkov Uniwersytetu Technicznego w Zvoleniu (Słowacja) oraz laboratorium firmy JOWAT

w Detmold (Niemcy) – wiodącym producentem środków wiążących dla drzewnictwa, którą to nadal w rożnych rozwiązaniach instytucjonalnych kontynuuje.

Moje ówczesne zainteresowania naukowo-badawcze obejmowały następujące nurty:

- zwilżalność powierzchni materiałów lignocelulozowych oraz skonsolidowanych warstw klejowych i lakierowych (IIBa3, IIBa11, IIBb8)
- procesy żelowania oraz utwardzania środków wiążących, w szczególności na bazie żywic polikondensacyjnych (PF, UF, MUF, MUPF) (IIBa1, IIBa14, IIBb2)
- analiza fizykochemicznych przemian zachodzących w strukturze fizykochemicznej klejowych żywicach polikondensacyjnych w warunkach ich syntezy, składowania oraz aplikacji z wykorzystaniem metod instrumentalnej analizy chemicznej (IR, NIR, DTA-TG, DSC) (IIA1)
- wodorozcieńczalne i rozpuszczalnikowe środki proadhezyjne stosowane do korygowania sklejalności egzotycznych gatunków drewna, taśm obrzeżowych oraz folii syntetycznych (IIBa7, IIBa12)
- właściwości reologiczne płynnych klejów (IIBa6, IIBb1, IIBb3)
- twardość skonsolidowanych warstw uformowanych z klejów polioctanowinylowych (IIBa13, IIBb5, IIBb7)
- wytrzymałości i odporności spoin klejowych (IIBa2, IIBa4, IIBa5, IIBa8, IIBa9, IIBa16).

W charakterze współautorskim publikowałem także opracowania o charakterze popularyzatorskim, m.in. z zakresu uszlachetniania powierzchni tworzyw laminatami HPL, technologiami oklejania w rozwiązaniach soft- i postformingu, w prasach 3D oraz sposobem opłaszczowania. W tabeli 1 zestawiono wykaz czasopism na łamach, którym ogłaszałem drukiem swoje prace.

Jak już powyżej nadmieniono, badano m.in. podatność na klejenie oraz lakierowanie następujących gatunków drewna pozyskanego z drzew szybkorosnących: brzoza (*Betula verrucosa* Ehrh.), olcha (*Alnus glutinosa* Gaertn.), osika (*Populus tremula* L.) oraz wierzba (*Salix alba* L.). W eksperymentach uwzględniono drewno w różnej klasie wieku, analizując przedmiotową podatność dla części odziomkowej i wierzchołkowej drzew. Dla różnych klejów i wyrobów lakierowych określono na podstawie założeń adsorpcyjnej teorii adhezji oddziaływania w układzie drewno-polimery, zbadano strukturę chemiczną za pomocą spektroskopii IR, poznano procesy żelowania i utwardzania żywic w obecności poszczególnych gatunków drewna, wykorzystując do tego celu analizę termiczną (DTA-TG). Istotnym wkładem tych

badań do nauki były liczne rozwiązania z zakresu metodologii oraz wyznaczenie parametrów kinetycznych (rzędowość, stała szybkości reakcji, energia aktywacji) i scharakteryzowanie procesów żelowania żywic w obecności ekstraktów wyodrębnionych z poszczególnych gatunków drewna. Określono także zmiany entalpii oraz entropii przejścia substratów w kompleks aktywny podczas procesu żelowania wybranych żywic klejowych. Badania podstawowe uzupełniono danymi doświadczalnymi w zakresie wytrzymałości na ścinanie i wodoodporności spoin klejowych oraz charakterystyk użytkowych uzyskiwanych powłok lakierowych. Wyniki tych badań mogą znaleźć bezpośrednie zastosowanie w praktyce przemysłowej, zwłaszcza w procedurach doboru środków wiążących i wyrobów lakierowych do określonych zastosowań oraz do opracowywania parametrów aplikacji w przerobie drewna gatunków szybkorosnących.

Z kolei zrealizowane badania z zakresu właściwości reologicznych klejów można zaliczyć zarówno do kategorii badań podstawowych, jak i utylitarnych. Uwzględniono w nich spoiwa aminowe, fenolowe oraz polioctanowinylowe, opisując ich charakterystyki w funkcji warunków składowania i postępujących procesów starzeniowych, zmiennych składów recepturowych sporządzanych mas oraz temperatury stosowania klejów. Eksperymentalne dane w zakresie kształtowania się lepkości pozornej oraz naprężeń stycznych w funkcji szybkości ścinania klejów, aproksymowano do różnych postaci matematycznych modeli, wyznaczając ich parametry oraz dokonując na tej podstawie charakterystyk reologicznych poszczególnych środków wiążących oraz poznając przebieg i dynamikę odnośnych procesów. Ponadto w ramach realizacji tych badań na podstawie zmian lepkości ocenianych układów opisano kinetykę procesów żelowania klejów. Dane doświadczalne mogą znaleźć wykorzystanie w praktyce w procedurach optymalizacji parametrów aplikacji klejów.

W pracach z zakresu klejów PVAC przeznaczonych dla budownictwa, w sposób komplementarny przedstawiano wyniki badań właściwości różnych generacji rzeczonych klejów, odpowiednio w stanie ciekłym, w postaci zestalających się warstw oraz spoin klejowych. Rozpatrywano adhezję tych klejów do drewna, zajmowano się ich modyfikacją zmierzającą do poprawy wodoodporności uzyskiwanych spoin, badano wpływ składów recepturowych i parametrów aplikacyjnych na kształtowanie się właściwości klejów oraz połączeń. Prowadzono badania metodyczne z zakresu kształtowania się wytrzymałości spoin w funkcji prędkości narastania obciążeń.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych uzyskanych w powyżej zaakcentowanych nurtach badawczych zaliczam:

- opracowanie oryginalnej analitycznej metody ilościowego określania zawartości wypełniaczy w klejach polioctanowinylowych za pomocą spektroskopii NIR. Rezultaty uzyskiwane zaproponowanym sposobem w pełni korelują z wartościami otrzymywanymi dotychczasową metodą polegającą na długotrwałym prażeniu analizowanej próbki kleju w temperaturze 800°C (IIGa4, IIGa11)
- zbadanie podatności na klejenie wybranych gatunków drewna egzotycznego: acajou (*Khaya ivorensis*), badi (*Nauclea diderichii*), frake (*Terminalia superba*), framire (*Terminalia ivorensis*) oraz iroko (*Chlorophora excelsa*) stanowiącego cenny surowiec w szczególności w produkcji budowlanej stolarki otworowej. Wskazano na możliwości sklejania przedmiotowych gatunków drewna (IIBa7).

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem scharakteryzowane powyżej kierunki badań, zaś w szczególny sposób rozszerzyłem swoje zainteresowania naukowe na problematykę uszlachetniania powierzchni drewna i tworzyw drzewnych wyrobami lakierowymi, koncentrując swoje zainteresowania nad:

- przygotowaniem powierzchni drewna do lakierowania (obróbka szlifowaniem, aktywacja plazmą i wyładowaniami koronowymi) (IIA7, IIA14, IIBa56)
- modyfikacją termiczną drewna litego w rozwiązaniu *thermowood* (IIBa58, IIBa67, IIBa71)
- proekologicznymi środkami wiążącymi i uszlachetniającymi o obniżonej zawartości rozpuszczalników oferowanych w wersjach HS i SHS, a także produktów wodorozcieńczalnych oraz w szczególności utwardzanych energią promieniowania UV oraz LED (IIBa3, IIBa12, IIBa45, IIBa48, IIBa49, IIBa70)
- proekologicznymi technologiami klejenia i uszlachetniania powierzchni materiałów lignocelulozowych (reaktywne kleje topliwe PUR i POR, lakiery PUR w wersji Hot-Coating, a także technologie nadruku analogowego oraz digitalnego) (IIBa2, IIBa4, IIBa5, IIBa21, IIBa23, IIBa26, IIBa27, IIBa28, IIBa31, IIBa39, IIBa40, IIBa46, IIBa47, IIBa50, IIBa51, IIBa57, IIBa63),
- oceną walorów estetyczno-dekoracyjnych różnego rodzaju wykończeń powierzchni drewna oraz tworzyw drzewnych (IIBa9, IIBa10, IIBa22, IIBa29),
- badaniami odporności uszlachetnionych powierzchni drewna i tworzyw drzewnych na oddziaływanie czynników mechanicznych, chemicznych lub termicznych (IIBa6, IIBa18, IIBa19, IIBa20, IIBa24, IIBa25, IIBa34, IIBa41, IIBa42, IIBa69)

- badaniami przyspieszonego starzenia wykończonych powierzchni drewna i tworzyw drzewnych (IIBa8, IIBa11, IIBa13, IIBa14, IIBa16, IIBa17, IIBa66) .

Przedmiotowe badania prowadziłem głównie w ramach środków finansowych działalności statutowej W ramach postępowania konkursowego na WTD, w latach 2001-2008 Rada Wydziału powierzyła mi realizację wyszczególnionych poniżej 2 tematów finansowanych z tzw. puli badań własnych:

- *Badania termoodporności spoin z klejów przeznaczonych do produkcji mebli tapicerowanych* (symbol kodowy: 155/TD/26/W – w latach 2001-2002)
- *Badania właściwości wodorozcieńczalnych klejów dyspersyjnych stosowanych w drzewnictwie* (symbol kodowy: 184/TD/26/W – w latach 2003-2008).

Z kolei w latach 2004-2006 byłem głównym wykonawcą projektu badawczego finansowanego przez KBN nt. „Środki wiążące na bazie silanów do zastosowań w technologiach oklejania powierzchni elementów płytowych foliami i taśmami obrzeżowymi w meblarstwie" (identyfikator 2 P06L 006 27), natomiast w 2010-2013 jednym z wykonawców grantu NCN "Badania klasyfikacji jakościowo-wytrzymałościowej litych i klejonych elementów konstrukcyjnych z krajowego drewna sosnowego różnych baz surowcowych" (symbol kodowy: 0266/B/PO1/2010/39). Brałem także udział w pracach zespołu naukowego przygotowującego międzynarodowy projekt badawczy pt. „Superior bio-friendly systems for enhanced wood durability" (DURAWOOD) do NCBiR w ramach programu polsko-norweskiego, a po przyznaniu środków na jego finansowanie byłem wykonawcą powierzonych zadań badawczych, związanych w głównym stopniu z problematyką adhezji.

W ostatnich latach, zwłaszcza w ramach programu naukowo-badawczego COST Action FP1006, prowadziłem prace eksperymentalne koncentrujące się na klejeniu, a przede wszystkim uszlachetnianiu lakierami powierzchni drewna modyfikowanego termicznie bądź termo-mechanicznie, prowadząc badania nad:

- podatnością na lakierowanie drewna termojesionu z wykorzystaniem systemów chemoutwardzalnych oraz sieciowanych energią promieniowania UV i LED (IIA3, IIA4, IIA9),
- poznaniem odporności na przyspieszone starzenie powłok z lakierów z udziałem nanokomponentów (IIA10),
- określeniem wpływu sposobu przygotowania powierzchni drewna na wybrane właściwości powłok z lakierów utwardzanych energią promieniowania UV (IIA6, IIA8).

Część wyników badań sukcesywnie publikowałem na łamach czasopism naukowych wydawanych tak w kraju, jak i zagranicą (tabela 2-wykaz czasopism). Liczne dokonania prezentowałem także na konferencjach organizowanych tak w kraju, jak zagranicą. Do najważniejszych dokonań naukowo-badawczych zaliczam osiągnięcia zawarte w wybranych poniżej publikacjach:

- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIA15 (str. 9).** Aktywowano za pomocą wyładowań plazmowych powierzchnie drewna buka, dębu, jesionu oraz klonu. Stosowano niskotemperaturowy plazmotron, emitujący wyładowania w atmosferze powietrza, przy częstotliwości radiowej i ciśnieniu 100 Pa. Analizowano zmiany fizykochemiczne zachodzące na powierzchni drewna w układzie referencyjnym z próbkami nie poddanymi obróbce plazmą, prowadząc rzeczone badania w aspekcie przyczepności klejów i wyrobów lakierowych, na podstawie założeń kryterialnych wybranych teorii adhezji (mechanicznej, polaryzacyjnej, adsorpcyjnej i chemicznej). Skuteczność procesu aktywacji powierzchni drewna w zakresie identyfikacji chemicznych grup funkcyjnych i struktur prowadzono za pomocą analizy spektralnej FTIR. Stwierdzono w nich m.in., że wskutek wyładowań plazmowych następuje wzrost ilości grup OH, a co za tym idzie polarności powierzchni. Badano także zwilżalność powierzchni, określając jej hydrofilność na podstawie kształtowania się wartości kąta zwilżania. Dowiedziono, iż wartość kąta zwilżania dla uwzględnionych w badaniach gatunków drewna, obniżała się z poziomu wartości 74º do 30º. Uzyskane efekty miały charakter nietrwały i po upływie ok 50 h, następowała dezaktywacja powierzchni i powrót do wyjściowego stanu powierzchni drewna.
- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIA12 (str. 8).** Dla modyfikowanych termo-mechanicznie (STTM) fornirów z drewna brzozy badano dynamiczny kąt zwilżania przy zastosowaniu elektronicznego goniometru PG-3, Modyfikację fornirów prowadzono w prototypowej prasie hydraulicznej przy następujących parametrach modyfikacji: temperatura 150 oraz 180ºC, jednostkowe ciśnienie kompresji w zakresie siedmiu poziomów wartości wynoszących odpowiednio 0,5÷3,5 MPa, z odstopniowaniem co 0,5 MPa, czas modyfikacji wynosił 1 min. W pomiarach kąta zwilżania rozważano wpływ parametrów modyfikacji, uwzględniając stronę górną i dolną fornirów (odpowiednio: strona licowa, a więc górna-prawa; dolna-lewa). Prowadzono odnośne pomiary kąta zwilżania w odniesieniu do zmian kształtu rozpływającej się w wyniku rozlewności oraz

wnikania w powierzchnię forniru kropli wody destylowanej o objętości 3,5 µl, automatycznie rejestrując dane w czasie 100 s od momentu posadowienia kropli na powierzchni drewna. Przeanalizowano dane eksperymentalne, poddając je weryfikacji statystycznej, poznając tym sposobem kształtowanie się hydrofilności powierzchni modyfikowanych fornirów w funkcji rozważanych parametrów.

- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIBb2 (str. 29).** W publikacji o charakterze przeglądowym, na podstawie wyników zaczerpniętych także z badań własnych scharakteryzowano kleje do produkcji wielkowymiarowych elementów konstrukcyjnych z drewna o charakterze nośnym dla budownictwa. Zaprezentowano kleje rezorcynowo-fenolowo-formaldehydowe, alkilorezorcynowe, melaminowo-mocznikowo-formaldehydowe (MUF) oraz poliuretanowe (PUR). Skupiono się na nowej generacji klejów MUF, które umożliwiają stosowanie w wersji selektywnego nakładania komponentów mas klejowych metodą "mokro na mokro". Nadmieniono o nowatorskich przedsięwzięciach z wykorzystaniem osiągnięć z zakresu nanotechnologii w produkcji klejów PUR Przedstawiono zagadnienia postępu w zakresie metodologii dotyczącej diagnostyki spoin w aspekcie z zakresu kontroli jakości procesów klejenia w rozwiązaniach technologicznych *on line*.
- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIA10 (str. 8).** Asumptem przyświecającym podjętym badaniom była opracowanie systemów lakierowych o podwyższonej światłotrwałości, umożliwiających uzyskiwanie powłok chroniących powierzchnie drewna sosny przed szarzeniem oraz żółknięciem, powodowanym w głównym stopniu oddziaływaniem energii promieniowania UV-VIS. W skali laboratoryjnej przygotowywano modyfikowane nanokomponentami wodorozcieńczalne lakiery akrylowe do drewna. W charakterze absorberów promieniowania UV zastosowano nanocząstki CeO_2 oraz ZnO, które dozowano do ilości 5% w przeliczeniu na suchą masę substancji powłokotwórczych w lakierach. Z danych literaturowych wynika, iż mechanizm oddziaływań wytypowanych absorberów w zakresie stymulacji energii docierającej do powierzchni drewna, a w szczególności promieniowania UV jest wielce złożony. Koncentruje się on bowiem zarówno na rozpraszaniu, jak i pochłanianiu dawek rzeczonej energii, a przede wszystkim powoduje jej transformację na energię w postaci emitowanego do otoczenia ciepła. Uzyskiwane powłoki lakierowe na drewnie poddawano intensywnemu procesowi starzenia przy oddziaływaniu energii promieniowania

UV+IR, prowadzonego w czasie 30 h. W założonych interwałach czasowych prowadzono pomiary w systemie CIELab zmiany barwy powłok, które były determinowane wspomnianymi powyżej procesami szarzenia i żółknięcia. Określano także zmiany stopnia połysku oraz przezroczystości (transparentności) powłok lakierowych poddawanych starzeniu. Stwierdzono wysoką efektywność zaproponowanego sposobu modyfikacji lakieru akrylowego. Uzyskiwane powłoki charakteryzowały się stabilnym stopniem połysku oraz transparentności, zaś wskaźnik różnicy barw ΔE, uwzględniający w sposób kompleksowy zmiany kolorystyczne w obrębie 6 analizowanych barw, a więc parametru achromatycznego *L* oraz chromatycznych składowych *a i b*. W układzie referencyjnym wskaźnik różnicy barw ΔE, polepszył się 2,6 krotnie, eliminując praktycznie rzecz biorąc wspomniane powyżej przebarwienia drewna.

- **Publikacje: Załącznik nr 3 IIA6 (str. 7) oraz Załącznik nr 3 IIA8 (str. 7).** W niniejszych opracowaniach badano procesy przygotowania podłoża do uszlachetniania powierzchni drewna olchy lakierami wodorozcieńczalnymi oraz utwardzanymi energią promieniowania UV. W wstępnych etapach skoncentrowano się na zagadnieniach obróbki powierzchni drewna szlifowaniem w różnych sekwencjach papierów ściernych, odpowiednio o numeracjach 60→80→100→120→150→180, prowadząc rzeczone operacje wzdłuż i w poprzek przebiegu włókien w drewnie. Efektywność procesu obróbki szlifowaniem weryfikowano w badaniach wybranych parametrów chropowatości powierzchni drewna. Stwierdzono, iż najbardziej racjonalnym sposobem obróbki szlifowaniem jest prowadzenie procesu wzdłuż włókien, przy użyciu papierów ściernych w sekwencji papierów ściernych, odpowiednio o numeracjach 60→80→100 →120→150→180. Następnie na powierzchnie drewna aplikowano odpowiednio akrylowy lakier wodorozcieńczalny natryskiem air-mix oraz lakier UV za pomocą niestrukturyzowanych walców nakładających. Lakiery aplikowano także w sposób manualny za pomocą systemu precyzyjnie sterowanych listew (rakli), determinujących ilości nanoszenia z dokładnością do 1 g/m^2, przy stałej grubości uzyskiwanych wymalowań lakierowych. Lakier UV utwardzano w laboratoryjnej zminiaturyzowanej linii technologicznej, stosując promienniki Hg (dawka dozowanej energii UV o mocy 120 W/cm, przy prędkości transportera 10 m/min). Dla uzyskiwanych powłok lakierowych określano stopień połysku oraz przyczepność do podłoża metodą *pull-off*. Na podstawie rezultatów

przeprowadzonych badań opracowano przesłanki oraz założenia techniczne w zakresie materiałowym oraz procesowym dla technologii uszlachetniania powierzchni drewna olchy.

- **Publikacje: Załącznik nr 3 IIA3 (str. 6) oraz Załącznik nr 3 IIA9 (str. 8).** W przedmiotowych opracowaniach badano podatność na lakierowanie drewna jesionu modyfikowanego metodą *thermowood* w warunkach przemysłowych producentów z Polski i Hiszpanii. Proces modyfikacji prowadzono w specjalistycznych komorach w temperaturze wynoszącej 192, 202 oraz 212ºC, w obecności odpowiednio dozowanej pary wodnej oraz w atmosferze azotu. W zależności od przyjętego wariantu modyfikację prowadzono w czasie 60÷70 h. Dla powierzchni modyfikowanego drewna określono odczyn chemiczny (pH) oraz kwasową pojemność buforową (ABC), topografię powierzchni za pomocą skanera 3D, a także barwę w systemie pomiarowym CIELab oraz kąt zwilżania. Stwierdzono, m.in., że w wyniku przyjętego sposobu modyfikacji drewna, następuje obniżenie wartości wskaźnika ABC, co wskazuje zarazem, iż powierzchnia drewna jest bardziej podatna na zmiany odczynu chemicznego, na przykład w kontakcie z lakierami chemoutwardzalnymi sieciowanymi w środowisku kwasowym (typu SH).

  Do uszlachetniania powierzchni drewna jesionu użyto alkidowy oraz poliuretanowy 2K lakier wodorozcieńczalny, a także system akrylowy przeznaczony do utwardzania energią promieniowania UV. Na powierzchnie drewna aplikowano odpowiednio akrylowy lakier wodorozcieńczalny natryskiem air-mix oraz akrylowy lakier UV za pomocą niestrukturyzowanych walców nakładających. Lakiery aplikowano także w sposób manualny za pomocą systemu precyzyjnie sterowanych listew. Lakier UV utwardzano w laboratoryjnej zminiaturyzowanej linii technologicznej, stosując promienniki Hg (dawka dozowanej energii UV o mocy 120 W/cm, przy prędkości transportera 10 m/min). Dodatkowo proces utwardzania prowadzono w hybrydowym rozwiązaniu stosując promienniki w wersji LED (promieniowanie o długości fali 395 nm, przy mocy dawki 12 W/cm^2). Dla uzyskiwanych powłok lakierowych określono zwilżalność, stopień połysku, barwę oraz przyczepność do podłoża metodą *pull-off*. Na podstawie pomiarów kąta zwilżania opisano oddziaływania kohezyjne w powłokach, wyznaczając także swobodną energię powierzchniową oraz pracę adhezji wraz z ich składowymi odpowiednio dyspersyjną i polarną. Powłoki

lakierowe poddawano przyspieszonej procedurze starzenia w komorze SOLARBOX, prowadząc starzenie w przemiennej procedurze naświetlania próbek energią promieniowania UVA, przy parametrze BST 70ºC w czasie 112 min wraz z operacją nawilżania próbek wodą w czasie 18 min. Przyjęte warunki starzenia powłok odpowiadały ekspozycji energii słonecznej wynoszącej 50,4 MJ/m^2 oddziałującej w czasie 2000 h. Na podstawie uzyskanych rezultatów badań opracowano przesłanki oraz założenia techniczne w zakresie materiałowym oraz procesowym dla technologii uszlachetniania powierzchni drewna jesionu modyfikowanego termicznie w wersji *thermowood*.

- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIA13 (str. 9).** Badano podatność na lakierowanie modyfikowanych termicznie metodą STMT fornirów z drewna brzozy. Proces modyfikacji STTM fornirów prowadzono odpowiednio: w temperaturze 150, 180 210°C, przy ciśnieniu jednostkowym prasowania 4 MPa, w czasie 4 min. W badaniach rozważano wpływ parametrów modyfikacji oraz także stronę górną i dolną modyfikowanych fornirów (odpowiednio: strona licowa, a więc górna-prawa; dolna-lewa). Dwustronne oklejanie powierzchni płyt MDF fornirami z drewna brzozy, przeprowadzono w dwóch wariantach (prawa i lewa strona). Do oklejania użyto zmodyfikowanego kleju PVAC na bazie kopolimeru EVA, który nanoszono na powierzchnię płyty MDF wałkiem w ilości 180 g/m^2. Oklejanie powierzchni wykonywano w jednopółkowej prasie hydraulicznej, w temperaturze 20±1ºC, ciśnieniu jednostkowym 0.8 MPa, w czasie prasowania 3 min. Oklejone elementy płytowe sezonowano w klimatyzowanym laboratorium (temp. 20±2°C, RH 65±5%), w czasie 168 h. Należy podkreślić, iż mając na względzie korzystne parametry chropowatości powierzchni modyfikowanych fornirów, nie prowadzono obróbki szlifowaniem, przed aplikowaniem lakieru. W przypadku zaś fornirów nie modyfikowanych koniecznym było przeprowadzenie operacji szlifowania ich powierzchni, które wykonano papierami ściernymi w sekwencji numeracji 120 i 180. Na powierzchnie oklejonych fornirami płyt MDF, nakładano lakier alkidowo-uretanowany w sposób manualny za pomocą wałka, w postaci jednej warstwy w ilości 50 g/m^2. Dla uzyskiwanych powłok lakierowych badano przyczepność do podłoża metodą odrywową w rozwiązaniu *pull-off*. Analizowano mechanizmy delaminacji, występujące przy obciążeniach rozwarstwiających. Wykazano, że powłoki na bazie lakieru alkidowo-uretanowanego uformowane

na modyfikowanym metodą STMT fornirze z drewna brzozy charakteryzowały się bardzo korzystną adhezją do ich powierzchni. dla wszystkich rozpatrywanych wariantów modyfikacji. W analizie mechanizmów delaminacji stwierdzono, że najsłabszym ogniwem w rozpatrywanym układzie są rozwarstwienia kohezyjne w płycie MDF.

- **Publikacja - Załącznik nr 3 IIA5 (str. 7).** Badano procesy starzenia powłok lakierowych uformowanych na warstwowych klejonych elementach z drewna sosny, przeznaczonych do produkcji budowlanej stolarki otworowej. System lakierowy obejmujący odpowiednio warstwy: impregnatu, środka proadhezyjnego (primer), międzywarstwy i alkidowo-akrylowego lakieru nawierzchniowego aplikowano w warunkach przemysłowych, w technologii *on line*. Dla powłok lakierowych określono kształtowanie się stopnia połysku, przyczepności metodą *pull-off* oraz zwilżalności powierzchni powłok. Na podstawie danych z pomiarów kąta zwilżania wyznaczono swobodna energię powierzchniową, pracę adhezji (Wa) oraz napięcie powierzchniowe na granicy faz wraz z ich składowymi odpowiednio dyspersyjną oraz polarną. Powłoki poddawano procesom starzenia termicznego w wersji cykli zmiennych temperatur (1 h +50ºC/1 h - 20ºC). Wykonywano kolejno 3, 6 i 9 cykli, prowadząc każdorazowo wyszczególnione powyżej badania. Stwierdzono, że testowane powłoki lakierowe charakteryzowały w warunkach starzenia termicznego stabilnym stopniem połysku, wysoką przyczepnością do podłoża zarówno wyznaczoną drogą eksperymentalną, jak i teoretyczną. Wartości parametru Wa każdorazowo osiągały poziom 90 mJ/m^2.

4. Wskaźniki wartościujące dokonania naukowe

Mój dorobek naukowy obejmuje łącznie 291 pozycji. Jestem autorem lub współautorem 130 oryginalnych prac naukowych w tym 104 po uzyskaniu stopnia doktora (tabele 1 i 2 oraz Załącznik 3), 1 rozdziału w monografii w języku polskim, 123 prace opublikowane w materiałach konferencyjnych (w tym 76 po uzyskaniu stopnia doktora: Załącznik 3).

Sumaryczna liczba punktów KBN i MNiSW za mój opublikowany dorobek naukowy wynosi 915 (w tym 856 po uzyskaniu stopnia doktora - tabela 3), a po wyłączeniu osiągnięcia habilitacyjnego 749 (w tym 690 po uzyskaniu stopnia doktora).

Według raportu cytowań przygotowanego na podstawie danych zawartych w bazie Web of Science wg stanu na dzień 25 kwietnia 2019 r.:

- całkowita liczba cytowań – 96
- liczba cytowań bez autocytowań – 76
- liczba prac, w których cytowane są moje dokonania – 70
- liczba prac, w których cytowane są dokonania z wyłączeniem prac własnych – 58
- średnia liczba cytowań na dokonanie – 4,00
- indeks Hirscha (h-index) – 7
- sumaryczny impact factor za te prace wg bazy Web of Science zgodnie z rokiem wydania wynosi 26,261 (w tym po wyłączeniu prac będących przedmiotem rozprawy habilitacyjnej 18,655).

Tabela 1. Publikacje przed uzyskaniem stopnia doktora

Nazwa czasopisma	Rok wydania	Liczba dokonań	Liczba punktów	Sumaryczna liczba punktów	Impact factor*	Sumaryczny impact factor*
Chemické listy	1997	1	10	10	0,186	0,186
Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW. For. and Wood Technol.	1996 1999 2001 2002	1 1 4 5	-	-	-	-
Folia Forestalia Polonica ser B. Drzewnictwo	1997 1998 1999	2 1 1	4 4 4	8 4 4	-	-
Przemysł Drzewny	1995 1997	2 2	2 2	4 4	-	-
PTPN. Wydz. Nauk Techn. Prace Komisji Technol. Drewna	1995	1	-	-	-	-
Roczniki AR Poznań. Chem. Technol. Drewna	1995	1	1	1	-	-
Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. ser. Chemia	2001	4	6	24	-	-
Razem		26	-	59	0,186	0,186

* zgodnie z rokiem wydania pracy (wg ówczesnych list KBN)

Tabela 2. Publikacje po uzyskaniu stopnia doktora

Nazwa czasopisma	Rok wydania	Liczba dokonań	Liczba punktów	Sumaryczna liczba punktów	Impact factor*	Sumaryczny impact factor*
Czasopisma z listy A MNiSW						
Applied Surface Science	2015	1	35	35	3,150	3,150
BioResources	2016	2	35	70	1,321	2,642
Drewno	2014 2016 2018 2019	1 2 1 1	15 15 15 15	15 30 15 15	0,300 0,642 0,311 0,311	0,300 1,284 0,311 0,311
Drvna Industrija	2018	1	20	20	0,616	0,616
European Journal of Wood and Wood Products	**2014** **2015**	**2** **1**	**30** **30**	**60** **30**	**1,235** **1,081**	**2,470** **1,081**
Journal of the American Leather Chemists Association	2019	1	20	20	0,699	0,699
Maderas: Ciencia y Tecnologia	**2016**	**1**	**30**	**30**	**1,100**	**1,100**
Progress in Organic Coatings	2018 **2018**	2 **1**	40 **40**	80 **40**	2,955 **2,955**	5,910 **2,955**
Wood Research	2008 2018	1 1	10 15	10 15	0,254 0,642	0,254 0,642
Czasopisma uwzględnione w bazach danych Web of Science i Scopus						
Coatings	2017	1	-	-	2,350	2,350
Drewno	2008	1	4	4	-	-
Wood Material Science and Engineering	**2014** **2017**	**1** **1**	-	-	-	-
23rd International Scientific Conference: Zagreb	2012	1	-	-	-	-
29th International Conference Zagreb	2018	2	-	-	-	-
Czasopisma z listy B MniSW						
Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW. For. and Wood Technol.	2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2013 **2014** 2015 2016 2017	4 2 5 5 8 6 6 7 2 1 **1** 2 2 2	3 3 3 4 4 4 4 6 6 6 **6** 10 10 10	12 6 15 20 32 24 24 42 12 24 **6** 20 20 20	-	-
Biuletyn Informacyjny	2007 2012	1 1	-	-	-	-

OBRPPD						
Folia Forestalia Polonica ser B. Drzewnictwo	2005	1	4	4		
Intercathedra	2008 2009 2010 2011 2012 2013	2 3 2 2 1 2	4 4 6 8 8 10	8 12 12 16 8 20	-	-
Lakiernictwo Przemysłowe	2010 2011 2012 2013	1 1 1 1	-	-	-	-
Meble. Materiały i Akcesoria	2006	1	-	-	-	-
Przemysł Drzewny	2005	1	4	4		
Roczniki AR Poznań. Technol. Drewna	2005	3	2	6	-	-
Tworzywa Sztuczne w Przemyśle	2016	1	-	-	-	-
Razem		**104**	**-**	**856**	**-**	**26,075**

* zgodnie z rokiem wydania pracy (wytłuszczoną czcionką czasopisma stanowiące przedmiot habilitacji)

Tabela 3. Sumaryczny wykaz osiągnięć w pracy naukowo-badawczej

Rodzaj publikacji/aktywności	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniu stopnia doktora		
	Liczba	Impact Factor*	Liczba punktów MNiSW	Liczba	Impact Factor*	Liczba punktów MNiSW
Oryginalne prace twórcze	26	0.186	49	104	26.075	856
Monografie, rozdziały w monografiach i książkach naukowych	-	-	-	1	-	-
Artykuły popularno-naukowe	4	-	-	33	-	-
Referaty naukowe wygłoszone na konferencjach	47	-	-	76	-	-
Razem	**77**	**0.186**	**59**	**214**	**26.075**	**856**
Łączna liczba cytowań	-			**96**		
Liczba cytowań bez autocytowań	-			**76**		
Indeks Hirscha	-			**7**		

Krystofiak