



Rada Doskonałości Naukowej 00-901 Warszawa, pl. Defilad 1 Dział Kancelaryjny WPLYNEŁO (RPW)	
30.03.2023	
Znak sprawy	
Podpis	Zat.

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Rada Naukowa Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo
ul. M. Oczapowskiego 2
10-719 Olsztyn

za pośrednictwem:

Rady Doskonałości Naukowej

pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Kazimierz Warmiński
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Rolnictwa i Leśnictwa
Katedra Chemii

Wniosek

z dnia 28 marca 2023 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie **nauk rolniczych** w dyscyplinie¹ **rolnictwo i ogrodnictwo**.

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

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod tytułem:
„Produkcja i kaskadowe wykorzystanie biomasy lignocelulozowej wieloletnich roślin przemysłowych jako element biogospodarki”

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

Zostałem poinformowany, że:

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

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

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

² * Niepotrzebne skreślić.

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

Mariusz Darmoch

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy.
2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora.
3. Autoreferat przedstawiający opis kariery zawodowej oraz istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej.
4. Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo.
5. Kopie dokumentów potwierdzających informacje zawarte w autoreferacie oraz wykazie osiągnięć naukowych.



PODPIS ZAUFANY

KAZIMIERZ
WARMIŃSKI
28.03.2023 21:03:54 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Autoreferat

przedstawiający opis kariery zawodowej oraz istotnej aktywności naukowej
realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej

dr inż. Kazimierz Warmiński

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wydział Rolnictwa i Leśnictwa

Katedra Chemii

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.....	4
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania.....	5
4.3.1. Wstęp	5
4.3.2. Cel badań.....	7
4.3.3. Omówienie wyników	7
4.3.4. Podsumowanie	25
4.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	27
4.4.1. Osiągnięcia naukowo-badawcze w okresie przed uzyskaniem stopnia doktora	27
4.4.2. Osiągnięcia naukowo-badawcze w okresie po uzyskaniu stopnia doktora	29
4.5. Literatura cytowana w punkcie 4	40
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	42
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	43
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne	43
6.2. Osiągnięcia organizacyjne.....	45
6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę	46
7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.....	48

1. Imię i nazwisko.

Kazimierz Warmiński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne

– z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2003 – doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii – ochrony roślin, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa;
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Poziom i jakość plonu rzepaku jarego w warunkach zróżnicowanej ochrony”.

1998 – magister inżynier, kierunek rolnictwo, zakres ochrona roślin, Akademia Rolniczo-Techniczna im. M. Oczapowskiego w Olsztynie.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

2003.12.30 – nadal, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Rolnictwa i Leśnictwa (nazwa do 31.12.2020 r.: Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa), stanowisko: adiunkt

Habilitant pracował w 3 jednostkach (katedrach) uczelni:

2003–2011, Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska,

2012–2014, Katedra Toksykologii Środowiska (*zmiana nazwy Katedry*),

2015–nadal, Katedra Chemii (*włączenie Katedry TS w strukturę Katedry Chemii*).

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

„Produkcja i kaskadowe wykorzystanie biomasy lignocelulozowej wieloletnich roślin przemysłowych jako element biogospodarki”

4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych (publikacji P1-P5):

P1. Stolarski M.J., **Warmiński K.**[✉], Krzyżaniak M. 2020. Energy value of yield and biomass quality of poplar grown in two consecutive 4-year harvest rotations in the north-east of Poland. *Energies*, 13, 1495. <https://doi.org/10.3390/en13061495>.

(**IF 3,004**, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 14, Scopus: 16).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P2. Stolarski M.J., **Warmiński K.**[✉], Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Stachowicz P. 2020. Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period – Renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 204, 117952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117952>.

(**IF 7,147**, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 15, Scopus: 17).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P3. **Warmiński K.**[✉], Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock. *Industrial Crops and Products*, 171, 113976. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113976>.

(**IF 6,449**, MEiN 200 pkt., cytowania WoS: 10, Scopus: 16).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej (w tym wykonaniu analiz wielowymiarowych), analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P4. Warmiński K.[✉], Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Phenolic content and antioxidant capacity of willow bark obtained in an annual cutting cycle. *Journal of Elementology*, 26(2): 519-529. <https://doi.org/10.5601/jelem.2021.26.2.2159>.

(IF 0,923, MEiN 70 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 0).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, pozyskaniu finansowania i wykonaniu badań, administracji nad projektem, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P5. Stolarski M.J., Warmiński K.[✉], Krzyżaniak M., Olba-Zięty E. 2022. Cascaded use of perennial industrial crop biomass: The effect of biomass type and pre-treatment method on pellet properties. *Industrial Crops and Products*, 185, 115104. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115104>.

(IF 6,449, MEiN 200 pkt. cytowania WoS: 2, Scopus: 4)

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej (w tym analizie wielowymiarowej), analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

[✉] Autora korespondencyjnego publikacji oznaczono symbolem koperty.

Artykuły naukowe nr **P1**, **P3**, **P4** i **P5** są wynikiem badań finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” – Biostrateg III; projekt pt. „Bioprodukty z biomasy lignocelulozowej pozyskanej z gruntów marginalnych w celu wypełnienia luki obecnej w narodowej biogospodarce” (BIOmagic), nr projektu: BIOSTRATEG3/344253/2/NCBR/2017.

Kopie artykułów **P1-P5** zamieszczono w załączniku nr 5.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

4.3.1. Wstęp

W obecnych czasach bioprodukty i bioenergia mogą istotnie przyczynić się do zrównoważonego wzrostu i konkurencyjności krajowej gospodarki. Dlatego też, bardzo ważne i celowe jest rozwijanie koncepcji szeroko pojętej biogospodarki, ponieważ obejmuje ona produkcję odnawialnych zasobów biologicznych oraz przekształcanie tych zasobów i strumieni pozostałości w produkty o wartości dodanej, czyli bioprodukty w całości lub części pochodzące z materiałów pochodzenia biologicznego i bioenergię. Takie podejście stwarza podstawy dla bardziej innowacyjnego, zasobooszczędnego i konkurencyjnego społeczeństwa, w którym zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego nie wchodzi w konflikt z zasadami zrównoważonego wykorzystania zasobów odnawialnych dla celów

przemysłowych, przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony środowiska. Ponadto biogospodarka zwiększa niezależnienie od paliw kopalnych i jest motorem rozwoju przedsiębiorczości i powstawania nowych miejsc pracy. Ta część gospodarki, która wykorzystuje biomasę, w tym pochodzenia rolniczego (jak rośliny jednoroczne i wieloletnie, pozostałości rolnictwa i przemysłu rolno-spożywczego) do produkcji biochemikaliów, paliw transportowych i energii, określana jest jako biogospodarka. Biogospodarka jako część gospodarki obejmuje wszystkie opcje wytwarzania bioproduktów żywnościowych i nieżywnościowych oraz usług energetycznych z biomasy. Dlatego też biogospodarka potrzebuje zrównoważonych dostaw biomasy do produkcji bioproduktów i wielu innych zastosowań. Ważnym i obecnie głównym źródłem biomasy rolniczej w Polsce są pozostałości poprodukcyjne w postaci słomy, powstającej przy produkcji roślin zbożowych i oleistych. Ponadto znaczącą rolę w strumieniu dostaw biomasy dla biogospodarki mogą też odgrywać wieloletnie rośliny przemysłowe (WRP) (Komisja Europejska 2012; Chyłek 2016; Stolarski i in. 2017; Jankowski i in. 2019; Stolarski 2021; Warmiński i in. 2021).

Wśród WRP wyróżnia się trzy grupy roślin: (i) krzewy i drzewa szybko rosnące, dające biomasę w postaci drewna (z jęz. ang. *short rotation coppice* lub *short rotation woody crops*), np. wierzba, topola, robinia akacja; (ii) byliny dające biomasę w postaci półzdrewniałej (*herbaceous crops*), np. ślaziowiec pensylwański, słonecznik wierzbolistny, rożnik przerośnięty; (iii) trawy dające biomasę w postaci słomy (*grasses*), np. miskant olbrzymi, spartina preriowa czy lasecznica trzciniowata (Ceotto i in. 2015; Amaducci i in. 2017; Stolarski i in. 2018a; Matyka i Radzikowski 2020). Do tej pory głównym kierunkiem wykorzystania biomasy lignocelulozowej WRP były cele energetyczne, czyli głównie wytwarzanie energii cieplnej, energii elektrycznej i biopaliw transportowych za pomocą różnorodnych technologii konwersji (Godin i in. 2013; Stolarski i in. 2013a; Jankowski i in. 2016; Scordia i in. 2016). Natomiast zgodne z ideą biogospodarki należy koniecznie poszukiwać możliwości wielokierunkowego wykorzystania biomasy WRP, w tym również do wytwarzania różnych odnawialnych bioproduktów żywnościowych i nieżywnościowych oraz usług energetycznych (Stolarski i in. 2020).

W związku z powyższym należy poszukiwać możliwości kaskadowego, zrównoważonego wykorzystania każdej biomasy, w tym również z WRP. Oznacza to, że również biomasa lignocelulozowa nie powinna być bezkrytycznie bezpośrednio wykorzystana tylko na cele energetyczne bez rozważenia możliwości jej wykorzystania w pierwszej kolejności na bioprodukty o wyższej wartości dodanej. Wiadomym jest, że występujące w biomacie lignocelulozowej WRP ekstrahowalne fitozwiązki (*extractable phytochemicals*) znajdują zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym, chemicznym, a nawet żywnościowym i paszowym (Devappa i in. 2015; Attard i in. 2018; Noletto-Dias i in. 2018; Malm i in. 2021; Ostolski i in. 2021). W związku z tym optymalnie byłoby, aby w pierwszej kolejności z biomasy lignocelulozowej WRP pozyskiwać ekstrakty i zawarte w nich substancje bioaktywne, a dopiero pozostałości poprodukcyjne, tak zwaną biomasę poekstrakcyjną, wykorzystywać do wytwarzania bioenergii.

4.3.2. Cel badań

Głównym celem badań w ramach osiągnięcia naukowego była ocena możliwości produkcji i kaskadowego wykorzystania biomasy lignocelulozowej wybranych gatunków WRP jako element biogospodarki. Natomiast cele szczegółowe obejmowały:

1. Określenie: (i) plonowania; (ii) wartości energetycznej plonu oraz (iii) właściwości termofizycznych i składu elementarnego biomasy czterech klonów topoli zbieranych w dwóch kolejnych 4-letnich rotacjach zbioru.
2. Ocenę przydatności biopaliw stałych z biomasy lignocelulozowej, w tym zrębków wierzby, w produkcji energii cieplnej dla domu jednorodzinnego w porównaniu do paliw kopalnych poprzez określenie: (i) jakości i ilości paliw; (ii) zużycia energii oraz (iii) kosztów generowania energii cieplnej przy wykorzystaniu automatycznego zestawu do spalania biomasy w okresie kolejnych 12 lat eksploatacji kotłowni.
3. Określenie: (i) udziału oraz plonu kory i drewna; (ii) zawartości substancji bioaktywnych w korze; (iii) właściwości termofizycznych i składu elementarnego drewna; (iv) potencjalnego plonu substancji bioaktywnych z kory; (v) wartości energetycznej drewna dla dziesięciu genotypów wierzby zbieranych w rotacjach jednorocznych.
4. Określenie: (i) pojemności przeciwutleniającej; (ii) zawartości sumy związków fenolowych i flawonoidów oraz (iii) potencjalnego plonu sumy substancji bioaktywnych kory dziesięciu genotypów wierzby pozyskanej w rotacjach jednorocznych.
5. Ocenę: (i) właściwości termofizycznych i (ii) chemicznych peletów wyprodukowanych z różnych rodzajów lignocelulozowej biomasy poekstrakcyjnej (po ekstrakcji nadkrytycznym CO₂) i nieekstrahowanej pozyskanej z pięciu gatunków WRP (dwa gatunki wierzby, topola, słonecznik wierzbolistny, miskant olbrzymi).

4.3.3. Omówienie wyników

Cel 1. Określenie: (i) plonowania; (ii), wartości energetycznej plonu oraz (iii) właściwości termofizycznych i składu elementarnego biomasy czterech klonów topoli zbieranych w dwóch kolejnych 4-letnich rotacjach zbioru.

Pierwsza praca (P1), otwierająca prezentowany cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, przedstawia wyniki badań nad plonowaniem, wartością energetyczną i właściwościami biomasy topoli. Podstawą badań było doświadczenie polowe zlokalizowane w północno-wschodniej Polsce (53°35' N, 20°36' E) w Stacji Dydaktyczno-Badawczej należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w

Olsztynie. W doświadczeniu uprawiano cztery klony topoli z gatunku *Populus balsamifera* L. oznaczone jako: UWM 1, UWM 2, UWM 3, UWM 4. Eksperyment założono w kwietniu 2007 r. i zastosowana duża gęstość sadzenia topoli, 24 tys. sztuk ha⁻¹. W pierwszym (2007) oraz drugim (2008) roku wegetacji przeprowadzono dwukrotne pielenie ręczne roślin, a w pozostałych latach nie prowadzono pielęgnacji roślin topoli. W roku założenia doświadczenia nawożenia mineralnego nie stosowano. W drugim (2008) i piątym (2011) roku prowadzenia doświadczenia zastosowano nawozy w dawkach: 90 kg ha⁻¹ N, 13 kg ha⁻¹ P i 49,8 kg ha⁻¹ K. Rośliny topoli zbierano w dwóch kolejnych 4-letnich rotacjach zbioru. Pierwsza rotacja obejmowała lata 2007–2010, druga rotacja to lata 2011–2014. Przy czym zbiór topoli wykonywany był zimą następnego roku, to znaczy w okresie lutego/marca 2011 i 2015 roku. Podczas zbioru roślin pobierano reprezentatywne próby biomasy. Wilgotność biomasy oznaczono w 105°C według normy EN ISO 18134-1:2015. W zmielonych (1 mm) próbkach oznaczono zawartość popiołu, części lotnych i węgla związanego (PN-EN ISO 18122:2016-01 and PN-EN ISO 18123:2016-01). Ciepło spalania i wartość opałową oznaczono według PN-EN ISO 18125:2017-07. W biomacie oznaczono również zawartość węgla (C), wodoru (H) i siarki (S) za pomocą automatycznego analizatora elementarnego (PN-EN ISO 16948:2015-07, PN-EN ISO 16994:2016–10). Ponadto oznaczono zawartość azotu ogólnego (N) metodą Kjeldahla. Natomiast zawartość chloru oznaczono z zastosowaniem mieszaniny Eschki. Pełen opis badań, urządzeń oraz metod oceny właściwości biomasy przedstawiono szczegółowo w pracy **P1**.

Zarówno plon biomasy topoli jak i jego wartość energetyczna były istotnie różnicowane przez klon, rotację zbioru oraz współdziałanie tych czynników. Istotnie najwyższy plon świeżej oraz suchej masy dał klon UWM 2, średnio z dwóch 4-letnich rotacji, odpowiednio 89,5 Mg ha⁻¹ i 40,0 Mg ha⁻¹. Wartość tych cech dla klonów UWM 3 i UWM 1 była niższa średnio o odpowiednio około 30% i 40%. Natomiast klon UWM 4 plonował średnio ponad 2-krotnie niżej niż UWM 2. Średni plon świeżej (87,4 Mg ha⁻¹) i suchej (40,6 Mg ha⁻¹ s.m.) biomasy topoli w drugiej czteroletniej rotacji był istotnie wyższy, średnio odpowiednio o 260% i 278% w porównaniu do średnich plonów z pierwszej rotacji zbioru. W całym eksperymencie zdecydowanie istotnie najwyższy plon świeżej (119,7 Mg ha⁻¹) i suchej (54,5 Mg ha⁻¹ s.m.) biomasy dał klon UWM 2 w drugiej czteroletniej rotacji zbioru. W przeliczeniu na rok użytkowania plantacji było to odpowiednio 29,9 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ i 13,6 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. Jednakże średni plon suchej biomasy dla czterech badanych klonów topoli w drugiej rotacji był niższy i wynosił 10,1 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m., a w pierwszej rotacji był on bardzo niski i wynosił tylko 3,6 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. Plony uzyskane w tym eksperymencie w drugiej rotacji zbioru były zbliżone do wartości uzyskanych w innych badaniach prowadzonych w Polsce, w których plon topoli w 4-letniej rotacji wynosił średnio 8,2 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m., a maksymalnie wynosił on 10,5 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. (Stolarski i in. 2015a). Wyższe plony topoli (11,7 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) uzyskano we Włoszech w dwuletniej rotacji zbioru (Guidi i in. 2009). Ponadto wydłużanie rotacji zbioru do trzy i czteroletniej wpływało na istotny wzrost plonowania topoli, do odpowiednio: 15,0 i 18,4 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. Podobne wysokie plony topoli w czteroletniej rotacji zbioru (18,0 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) uzyskano w Kanadzie (Labrecque i Teodorescu 2005). W innych

badaniach plony topoli były bardzo zróżnicowane (od 1,6 do 28 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) w zależności od warunków klimatycznych, rodzaju siedliska glebowego, gatunku i klonu, rotacji zbioru, wieku plantacji, poziomu nawożenia oraz innych zabiegów agrotechnicznych (Laureysens i in. 2005; Benetka i in. 2007; Christersson 2010; Fortier i in. 2010; Pearson i in. 2010).

Wartość energetyczna plonu topoli (wyliczona jako iloczyn plonu świeżej biomasy i jej wartości opałowej) zbieranej w dwóch kolejnych 4-letnich rotacjach zbioru wyniosła w doświadczeniu średnio 462 GJ ha⁻¹, przy wysokiej wartości odchylenia standardowego 270 GJ ha⁻¹, co świadczy o dużym zróżnicowaniu tego wskaźnika pomiędzy badanymi klonami i rotacjami zbioru. Istotnie najwyższą wartość energetyczną plonu dał klon UWM 2, średnio z dwóch 4-letnich rotacji 672 GJ ha⁻¹. Średnia wartość tej cechy dla klonów UWM 3, UWM 1 i UWM 4 była niższa, odpowiednio o około 31, 40 i 54%. Średnia wartość energetyczna plonu biomasy w drugiej czteroletniej rotacji była aż o 290% wyższa w porównaniu do średniej z pierwszej rotacji zbioru. W całym eksperymencie istotnie najwyższą wartość energetyczną plonu stwierdzono u klonu UWM 2 w drugiej czteroletniej rotacji zbioru 230,6 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. Wartość energetyczna plonu klonów UWM 1 i UWM 3 w drugiej rotacji zbioru wynosiła prawie 170 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. Natomiast wartość tej cechy dla klonu UWM 4 wynosiła ok. 120 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. Z kolei w pierwszej rotacji zbioru tylko klon UWM 2 osiągnął wartość energetyczną plonu powyżej 100 GJ ha⁻¹ rok⁻¹, a pozostałe klony znalazły się w ostatniej grupie jednorodnej. W innych badaniach krajowych najwyższa wartość energetyczna plonu topoli wynosiła 177 GJ ha⁻¹ rok⁻¹ (Stolarski i in. 2015a). Zbliżoną wartość energetyczną plonu topoli (188 GJ ha⁻¹ rok⁻¹) uzyskano w warunkach produkcyjnych Włoch w dwuletnich cyklach zbioru (Manzone i in. 2009). Natomiast w innych badaniach we Włoszech wartość energetyczna plonu topoli uprawianej w różnych rotacjach z zastosowaniem nawożenia mineralnego i nawadniania, była zdecydowanie wyższa i wynosiła 257 GJ ha⁻¹ rok⁻¹ (Manzone i Calvo 2016) i 270 GJ ha⁻¹ rok⁻¹ (Manzone i in. 2014). Jeszcze wyższe wartości (450 GJ ha⁻¹ rok⁻¹) uzyskali Nassi o Di Nasso i in. (2010), analizując wpływ rotacji zbioru (jednoroczna, dwuletnia, trzyletnia) na wartość energetyczną plonu przy stosowaniu nawożenia mineralnego. Z kolei w ekstensywnej uprawie topoli w 4-letniej rotacji zbioru wartość energetyczna plonu była zdecydowanie niższa (70,9 GJ ha⁻¹ rok⁻¹) (Walle i in. 2007). W związku z powyższymi średnią wartość energetyczną plonu topoli uzyskaną w niniejszych badaniach (P1) w warunkach północno-wschodniej Polski dla klonu UWM 2 (168 GJ ha⁻¹ rok⁻¹), a w szczególności zdecydowanie wyższą w drugiej 4-letniej rotacji zbioru (231 GJ ha⁻¹ rok⁻¹), należy uznać za wysoką i zadawalającą.

Wilgotność biomasy topoli w doświadczeniu była wysoka i wynosiła średnio 54,8%. Klony UWM 3 i UWM 2 charakteryzowały się istotnie wyższą średnią wilgotnością w porównaniu do dwóch pozostałych klonów. Ponadto wilgotność biomasy w pierwszej 4-letniej rotacji zbioru (56,2%) była istotnie o 2,8 punktu procentowego (p.p.) wyższa w porównaniu do średniej wilgotności w drugiej rotacji zbioru. Również inne badania potwierdzają, że wilgotność biomasy topoli w czasie zbioru jest wysoka i wynosi ponad 50%, a czasami może przekraczać nawet 60% (Sabatti i in. 2014; Monedero i in. 2017). Zawartość węgla związanego i części lotnych w 4-letnich pędach topoli wynosiła

odpowiednio średnio 18,6 i 79,4% s.m. Zawartość popiołu w biomase topoli wynosiła średnio 1,4% s.m. W całym doświadczeniu zawartość popiołu w 4-letnich pędach topoli zawierała się w przedziale od 1,0 do 1,6% s.m. Natomiast wartość opałowa biomasy topoli wynosiła średnio 7,5 MJ kg⁻¹. Klony UWM 4 i UWM 1 (grupa jednorodna A) charakteryzowały się istotnie większą wartością opałową w porównaniu do dwóch pozostałych klonów (grupa jednorodna B). Wartość opałowa topoli pozyskanej w drugiej 4-letniej rotacji zbioru była istotnie wyższa w porównaniu do wartości tej cechy z pierwszej rotacji zbioru. W innych badaniach 4-letnich pędów topoli średnia zawartość popiołu była nieznacznie wyższa (1,8% s.m.), a wartość opałowa bardzo zbliżona (7,5 MJ kg⁻¹) (Stolarski i in. 2018b). Również inne badania potwierdzają, że zawartość popiołu w biomase topoli może być zmienna (0,98–3,12% s.m.) w zależności od odmiany/klonu, rotacji zbioru i innych czynników (Sabatti i in. 2014; Monedero i in. 2017).

W ocenie zawartości wybranych pierwiastków w biomase topoli stwierdzono, że tylko rotacja zbioru miała istotny wpływ na zawartość C i Cl. Istotnie większą zawartość węgla (średnio 51,5% s.m.) oraz niższą zawartość chloru (średnio 0,009% s.m.) oznaczono w drugiej 4-letniej rotacji zbioru. Natomiast średnia zawartość C, H, S, N i Cl w 4-letnich pędach topoli wynosiła odpowiednio 51,1; 6,0; 0,028; 0,41 i 0,013% s.m. Stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy zawartością S i N ($r = 0,91$) oraz pomiędzy zawartością popiołu a zawartością N ($r = 0,67$) i S ($r = 0,63$). Ponadto dodatnia korelacja wystąpiła pomiędzy zawartością węgla związanego a zawartością S, N i Cl. Również w innych badaniach zawartość C, H, S i N była zbliżona i wynosiła odpowiednio: 50,3; 6,1; 0,03 i 0,42% s.m. (Gasol i in. 2009). Nieznacznie wyższe zawartości C, H, S, (odpowiednio 51,8; 6,4; 0,04% s.m.) oraz niższą zawartość N (0,16% s.m.) w biomase topoli stwierdzili Monedero i in. (2017).

Cel 2. Ocena przydatności biopaliw stałych z biomasy lignocelulozowej, w tym zrębków wierzby, w produkcji energii cieplnej dla domu jednorodzinnego w porównaniu do paliw kopalnych poprzez określenie: (i) jakości i ilości paliw; (ii) zużycia energii oraz (iii) kosztów generowania energii cieplnej przy wykorzystaniu automatycznego zestawu do spalania biomasy w okresie kolejnych 12 lat eksploatacji kotłowni.

Do realizacji drugiego celu szczegółowego przeprowadzono badania produkcji ciepła w warunkach rzeczywistych uzupełnione analizami laboratoryjnymi jakości biopaliw i węgla kamiennego. Przedmiotem badań prezentowanych w pracy **P2** był dom jednorodzinny zlokalizowany w północno-wschodniej Polsce, w Olsztynie (53°47' N, 20°30' E), w którym przez kolejnych 12 lat (01.10.2006–30.09.2018) generowano energię cieplną (wodę centralnego ogrzewania i ciepłą wodę użytkową). W kotłowni domu do wytwarzania energii cieplnej wykorzystywano automatyczny kocioł o mocy 30 kW, przystosowany do spalania różnych rodzajów biopaliw stałych: sezonowanych zrębków drzewnych (w tym wierzby), brykietu lub peletu drzewnego. W kolejnych latach badań oceniano jakość (właściwości termofizyczne i skład elementarny, w tym wartość opałową, wilgotność, zawartość popiołu, części

lotnych, węgla związanego oraz pierwiastków: C, H, N, S, Cl) zrębków wierzbowych z celowej plantacji polowej, brykietu i peletu drzewnego wyprodukowanych z mieszaniny trocin drzew liściastych i iglastych oraz – porównawczo – jakość węgla kamiennego, sortymentu ekogroszek (frakcja 20–30 mm). Charakterystykę metod laboratoryjnych przedstawiono w pracy **P2**, a także w opisie pierwszego celu cyklu publikacji wchodzącego w skład osiągnięcia naukowego.

Przeprowadzono analizy energetyczne i ekonomiczne dla wszystkich kolejnych 12 sezonów liczonych w okresach od 1 października do 30 września w celu oceny wytwarzania energii cieplnej dla domu jednorodzinnego z trzech rodzajów biopaliw stałych (zrębki wierzbowe, brykiet, pelet) oraz trzech paliw kopalnych (węgiel kamienny, gaz ziemny, olej opałowy). Na podstawie ilości zużytego brykietu drzewnego oraz jego rzeczywistej wartości opałowej określono zużycie energii cieplnej w domu. Ponadto zużycie brykietu drzewnego i energii posłużyło do oszacowania rocznych kosztów ogrzewania domu za pomocą pozostałych analizowanych paliw odnawialnych i kopalnych. Wyliczono również koszty produkcji 1 GJ energii cieplnej z poszczególnych paliw. Ponieważ badania w tym obiekcie prowadzone były przez 12 lat, to przeliczenia, na euro (€) z polskich złotych (PLN) dokonano według średniego kursu w NBP za lata 2006–2018, €/PLN (1/4,0978). Oprócz kosztów zakupu poszczególnych paliw, w analizach ekonomicznych uwzględniono koszty zakupu kotłów oraz koszty serwisu urządzeń. Cały zakres badań i analiz przedstawiono szczegółowo pracy **P2**.

Spośród badanych paliw stałych istotnie najwyższą średnią gęstością nasypową (866 kg m^{-3}) charakteryzował się węgiel. Z kolei spośród odnawialnych biopaliw stałych najwyższą gęstością nasypową charakteryzował się pelet 691 kg m^{-3} . Natomiast wartość tej cechy dla brykietu i sezonowanych zrębków wierzby była niższa odpowiednio o 144 i 483 kg m^{-3} w porównaniu do peletu. Zrębki wierzbowe charakteryzowały się istotnie najwyższą wilgotnością 21,54%. Wilgotność brykietu była ponad 2-krotnie niższa niż zrębków i wynosiła 9,96%, natomiast wilgotność peletu była ok. 3-krotnie niższa i wynosiła 7,29%. Zbliżone do powyższych wartości dla sezonowanych zrębków wierzbowych, brykietu, peletu i węgla stwierdzono również w innych badaniach (Stolarski i in. 2019). Należy tu podkreślić, że wilgotność stałych biopaliw biomasowych, w tym zrębków zależy również od sposobu i warunków ich przechowywania (Afzall i in. 2010; Stolarski i in. 2015b; Krzyżaniak i in. 2016). Ciepło spalania brykietu wynosiło $19,93 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ s.m.}$, również u pozostałych odnawialnych biopaliw stałych było ono na tym samym poziomie. Natomiast istotnie najwyższą wartość tej cechy ($30,20 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ s.m.}$) oznaczono w węglu. Po uwzględnieniu wilgotności, stwierdzono, że wartość opałowa brykietu wynosiła $17,79 \text{ MJ kg}^{-1}$ i była o około 19% wyższa niż dla zrębków wierzbowych oraz około 3% i 35% niższa niż dla peletu i węgla. W badaniach własnych odnawialne biopaliwa stałe w postaci brykietu i peletu charakteryzowały się niską zawartością popiołu, odpowiednio 0,86 i 0,61% s.m. Natomiast zawartość popiołu w zrębkach wierzbowych była istotnie, ok. 2-krotnie wyższa, a w węglu ok. 9-krotnie wyższa w porównaniu do brykietu. Zawartość węgla związanego i części lotnych była na tym samym poziomie u wszystkich odnawialnych biopaliw stałych. Natomiast węgiel zawierał zdecydowanie więcej tych składników w porównaniu do paliw odnawialnych. Z kolei zawartość

pierwiastków niepożądanych N, S, Cl w węglu była nawet kilkunastokrotnie wyższa niż w odnawialnych biopaliwach stałych, odpowiednio w zakresie 3–9; 13–41; 14–19.

Średnie całoroczne zużycie brykietu w okresie 12 kolejnych sezonów grzewczych wynosiło 7,01 Mg rok⁻¹. Najniższe zużycie tego biopaliwa stałego (6,00 Mg rok⁻¹) stwierdzono w sezonie 2011/2012. W pozostałych sezonach grzewczych zużycie było wyższe w zakresie od 6 do 30%, odpowiednio w drugim i dwunastym sezonie grzewczym. Należy również podkreślić, że aż w ośmiu sezonach grzewczych (1–4; 7; 8; 10; 11) najwyższe miesięczne zużycie paliwa stwierdzono w styczniu (zakres 1052–1525 kg). Z kolei w piątym i dziewiątym sezonie grzewczym (2010/2011 i 2014/2015) największe miesięczne zużycie brykietu wystąpiło w grudniu (1305 i 1080 kg). Natomiast w szóstym i dwunastym sezonie grzewczym największe miesięczne zużycie brykietu wystąpiło odpowiednio w lutym i marcu. Oczywiście zużycie brykietu oraz pozostałych analizowanych paliw odnawialnych i kopalnych zależało głównie od zewnętrznych temperatur powietrza oraz od oczekiwanej temperatury wewnątrz domu i ilości zużywanej ciepłej wody użytkowej. Na podstawie rocznego zużycia brykietu w poszczególnych sezonach grzewczych i jego średniej wartości opałowej stwierdzono, że roczne zużycie energii zawartej w tym paliwie wynosiło średnio 124,5 GJ rok⁻¹ i zawierało się w przedziale od ok. 109,1 do 137,7 GJ rok⁻¹, odpowiednio w sezonie 2011/2012 i 2017/2018. W celu poszerzenia prowadzonych analiz uwzględniono również całkowite zużycie energii elektrycznej w domu, które wynosiło średnio 17,6 GJ rok⁻¹. W związku z powyższym stwierdzono, że całkowite zużycie energii w analizowanym domu wynosiło średnio 142,2 GJ rok⁻¹ i zawierało się w przedziale od 127,5 do 153,4 GJ rok⁻¹. Warto również zauważyć, że z powyższych danych wynika, że w analizowanym domu zdecydowanie większe było zużycie energii cieplnej niż elektrycznej. W okresie 12 kolejnych lat, energia cieplna stanowiła średnio 87,6%, a energia elektryczna tylko 12,4% całkowitego zużycia energii.

Roczne koszty wytwarzania energii cieplnej z brykietu dla domu jednorodzinne w ciągu 12 sezonów grzewczych zawierały się w przedziale od 541 € do 972 €, odpowiednio w sezonie 2006/2007 i 2013/2014. Generowanie energii cieplnej ze zrębków wierzbowych było, w zależności od sezonu, tańsze o 109–341 € rok⁻¹. Z kolei ogrzewanie domu peletem było droższe w porównaniu do brykietu o 239–595 € rok⁻¹. Również wykorzystanie węgla sortymentu ekogroszek do generowania energii cieplnej było generalnie droższe w porównaniu do brykietu o 73–234 € rok⁻¹, a tylko w sezonie 2013/2014 było nieznacznie tańsze (o 23 € rok⁻¹). Natomiast wytwarzanie energii cieplnej z dwóch pozostałych paliw kopalnych, gazu ziemnego i oleju opałowego, było droższe niż z brykietu, w zależności od sezonu, odpowiednio o: 473–868 € rok⁻¹ i 1299–2307 € rok⁻¹. Oznacza to, że generowanie energii cieplnej z gazu ziemnego i oleju opałowego było droższe niż z brykietu odpowiednio ok. 1,5–2,1-krotnie i aż 3,0–3,5-krotnie.

W związku z powyższym, z tych badań wynika, że produkcja energii cieplnej z biomasy w postaci zrębków wierzbowych i brykietu było atrakcyjne pod względem kosztu wytworzenia 1 GJ energii w porównaniu do peletu oraz paliw kopalnych. Potwierdzają to również dane literaturowe, z których wynika, że średnio w Polsce, wygenerowanie 1 GJ energii cieplnej z oleju opałowego i gazu ziemnego

kosztowało odpowiednio 29,4 i 14,7 € GJ⁻¹. Natomiast produkcja ciepła ze zrębków drzewnych (ok. 7 € GJ⁻¹) była 2-krotnie tańsza niż z gazu ziemnego i ponad 4-krotnie tańsza niż z oleju opałowego (Stolarski i in. 2013b). Natomiast zdecydowanie najdrożej generowało się energię ciepłą przy wykorzystaniu do tego celu energii elektrycznej 42,6 € GJ⁻¹, co potwierdzają również dane z innych państw (Heinonen i Junnila 2014; Wahlström i Hårsman 2015). Tak więc z ekonomicznego punktu widzenia, produkcja energii ciepłej z biomasy ma sens jednakże nie zawsze jest to możliwe ze względów organizacyjnych, logistycznych, mentalnych itp. Trzeba bowiem podkreślić, że z punktu widzenia logistyki dostaw paliwa i obsługi kotłowni, wykorzystanie zrębków drzewnych jest uzasadnione głównie na obszarach wiejskich, zarówno w kotłowniach indywidualnych oraz komunalnych. Natomiast na obszarach miejskich zdecydowaną przewagę ma brykiet, który jest paliwem bardziej jednorodnym i łatwiejszym w logistyce i obsłudze z punktu widzenia użytkownika kotłowni. Oczywiście jeszcze większym komfortem z punktu widzenia użytkownika kotłowni domowej cechuje się pelet (Stolarski i in. 2016). Jednakże, trzeba dodać, że w tym przypadku należy liczyć się ze znaczącym wzrostem kosztów, ponieważ koszt produkcji energii ciepłej z peletu w niniejszych badaniach (P2) w okresie 12 lat był średnio o 56% wyższy w porównaniu do brykietu oraz o 121% wyższy w porównaniu do zrębków wierzbowych. Oczywiście trzeba tu również dodać, że obecna sytuacja polityczno-gospodarcza oraz związane z tym dynamiczne zmiany cen surowców energetycznych wpłynęły na zróżnicowanie badanych w tej pracy zależności. Tym nie mniej zrębki drzewne, w tym wierzbowe, ciągle pozostają jednym z najtańszych surowców energetycznych do generowania energii ciepłej.

Cel 3. Określenie: (i) udziału oraz plonu kory i drewna; (ii) zawartości substancji bioaktywnych w korze; (iii) właściwości termofizycznych i składu elementarnego drewna; (iv) potencjalnego plonu substancji bioaktywnych z kory; (v) wartości energetycznej drewna dla dziesięciu genotypów wierzby zbieranych w rotacjach jednorocznych.

Jak wykazano w pracy P1 wieloletnie rośliny przemysłowe dają duże i stabilne plony biomasy lignocelulozowej o wysokiej jakości jako surowiec energetyczny. Natomiast w pracy P2 udowodniono, że biomasa taka jest wysoce przydatnym, a przede wszystkim opłacalnym biopaliwem możliwym do wykorzystania w produkcji energii ciepłej w domach jednorodzinnych, zwłaszcza na terenach wiejskich. Jednakże, zgodne z założeniami biogospodarki, wykorzystanie biomasy WRP powinno być wielokierunkowe. Optymalnym rozwiązaniem jest więc jej kaskadowe wykorzystanie, w pierwszej kolejności na potrzeby wytwarzania ekstraktów i izolatów m.in. substancji bioaktywnych, z późniejszym ich przeznaczeniem na cele produkcji bioproduktów o wyższej wartości dodanej. Dopiero pozostałości poprodukcyjne powinny być przeznaczone na cele energetyczne.

Na potrzeby realizacji celu trzeciego osiągnięcia naukowego, pozyskano materiał roślinny ze ścisłego doświadczenia polowego i wykonano szereg analiz laboratoryjnych określających jakość kory wierzby jako źródła związków bioaktywnych, a pozostałego drewna jako surowca energetycznego (publikacja

P3). Wieloletnie doświadczenie polowe zostało założone w kwietniu 2003 r., na terenie Polski północnej w okolicach Kwidzyna (53°43'37" N, 18°53'54" E) na terenie dzierzawionym przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (UWM). Doświadczenie założono na bardzo żyznej glebie aluwialnej w dawnej pradolinie Wisły, określonej jako mada próchniczna bardzo ciężka, całkowita, wytworzona w całości z łu pylastego, o pH zbliżonym do obojętnego. W pierwszym roku założenia doświadczenia nie stosowano żadnego nawożenia roślin. Natomiast w latach 2004–2015 przed rozpoczęciem nowego okresu wegetacji stosowano nawożenie mineralne w dawkach N 90, P 18 i K 66 kg ha⁻¹. W całym okresie prowadzenia eksperymentu nie stosowano środków ochrony roślin. Prowadzono tylko ewentualne doraźne zabiegi mechanicznej regulacji zachwaszczenia. W eksperymencie tym założono, że rośliny wierzby będą zbierane w rotacjach jednorocznych, dlatego też zrzesy wysadzono w dużym zagęszczeniu 48000 sztuk na 1 ha.

Prezentowany w tej pracy (**P3**) zakres badań obejmował porównanie wybranych dziesięciu genotypów wierzby uprawianych w okresach wegetacji 2017 i 2018 roku. Czynnikiem w tych badaniach było dziesięć genotypów wierzby z kolekcji UWM, w tym: cztery genotypy z gatunku *S. purpurea* (odmiana Bona, klon UWM 062, klon UWM 166, klon UWM 168), dwa genotypy z gatunku *S. americana* (klon UWM 031, klon UWM 094), dwa genotypy z gatunku *S. triandra* (klon UWM 055, klon UWM 197) i dwa mieszańce międzygatunkowe *S. purpurea* × *S. daphnoides* (klon UWM 029, klon UWM 193).

Materiałem badawczym były całe jednoroczne pędy wierzby, których zbiór wykonywano pod koniec marca 2018 i 2019 roku, określając przy tym plon świeżej masy w Mg ha⁻¹. W trakcie zbioru roślin pobierano po 5 reprezentatywnych pędów z różnych karp z każdego poletka, w celu określenia udziału kory i drewna w pędach. Masa pojedynczego świeżego pędu wynosiła od 50 do ponad 110 g (średnio ok. 80 g). W laboratorium pędy korowano nożem, a oddzielone korę i drewno przeznaczono do dalszych badań. Zawartość suchej masy kory i drewna oznaczano w temperaturze 105°C. Zmieloną korę oraz drewno (1 mm) przeznaczono do analiz odpowiednio: zawartości substancji bioaktywnych oraz właściwości termofizycznych i składu elementarnego.

Zawartość całkowitej salicyny (pochodnych salicyny), całkowitego kwasu salicylowego oraz całkowitej kwercetyny została oznaczona w wysuszonej (40°C) korze dziesięciu genotypów wierzby z wykorzystaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją fotodiodową (HPLC-PDA). Przygotowanie prób do analiz HPLC obejmowało ekstrakcję (w metanolu 60% v/v) wspomaganą ultradźwiękami, oraz hydrolizę zasadową (NaOH, 60°C, 1h) bądź kwasową (HCl, 90°C, 2h). Oznaczając zawartość salicyny w hydrolizacie zasadowym, oznaczono tzw. całkowitą salicynę (salicynę i jej pochodne w przeliczeniu na salicynę); w dalszej części nazywaną, dla uproszczenia, salicyną. Z kolei za pomocą hydrolizy kwasowej przygotowano próby do oznaczania w nich kwasu salicylowego i kwercetyny w postaci wolnej i związanej (całkowity kwas salicylowy i całkowita kwercetyna). W dalszej części, nazywane dla uproszczenia, kwasem salicylowym i kwercetyną.

Oznaczanie zawartości salicyny wykonano metodą HPLC-PDA z detekcją w świetle UV przy długości fali 270 nm. Do rozdzielania zastosowano kolumnę chromatograficzną C18 250x3 mm, 5 µm, a jako fazę

ruchomą – dwa rozpuszczalniki (A: 1% wodny roztworu kwasu octowego oraz B: acetonitryl) w zmiennym gradiencie. Analiza HPLC kwasu salicylowego i kwercetyny w kwaśnym hydrolizacie ekstraktów z kory polegała na separacji za pomocą tej samej kolumny jak przy oznaczaniu salicyny, jednak detekcję przeprowadzono odpowiednio przy długości fali 300 nm i 360 nm. Szczegółowy zakres i opis analiz przedstawiono w pracy P3.

Drewno, jako pozostałość po okorowaniu pędów, oceniono pod względem właściwości termofizycznych i składu elementarnego. Metody przedstawiono w pracy P3, a także w skrócie scharakteryzowano w opisie pierwszego celu cyklu publikacji.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że udział kory i drewna w strukturze pozyskanej suchej biomasy wierzby był istotnie różnicowany przez genotyp i rok badań oraz interakcję tych czynników. Średni udział kory w jednorocznych pędach wierzby wynosił 28% s.m. Spośród badanych genotypów istotnie największy udział kory stwierdzono u *S. americana* UWM 094 (37,7% s.m.). Najniższy udział kory stwierdzono u odmiany Bona (25,1% s.m.) z gatunku *S. purpurea*. W pierwszym roku badań średni udział kory (28,7% s.m.) był o 1,3 punktu procentowego (pp.) wyższy w porównaniu do drugiego roku badań. W całym eksperymencie w zależności od genotypu i roku badań udział kory w zebranej biomacie wahał się w zakresie od 24,5 do 39,3% s.m.

Udział drewna w zebranej biomacie wynosił średnio 71,9% s.m. i był odwrotnością zawartości kory. Dlatego też najwyższy był on u *S. purpurea* odmiana Bona, a najniższy u *S. americana* UWM 094. Spośród badanych genotypów istotnie najwyższy plon biomasy, łącznie drewna i kory (13 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) uzyskano u mieszańca *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029. Na podobnym poziomie plonował również drugi mieszaniec i *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 193 oraz *S. americana* UWM 094. Natomiast najniższym plonem charakteryzował się genotyp *S. purpurea* UWM 062. W pierwszym roku badań średni plon biomasy (10 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) był o 0,5 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. wyższy niż w drugim roku badań.

Po uwzględnieniu całkowitych plonów oraz udziału kory i drewna w strukturze pozyskanej biomasy wierzby stwierdzono, że najwyższy plon suchej kory uzyskano u *S. americana* UWM 094 (średnio 3,9 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) oraz u obu mieszańców międzygatunkowych wierzby (3 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.). Natomiast naj słabiej plonującym był genotyp *S. purpurea* UWM 062, u którego plon kory był ponad dwukrotnie niższy w porównaniu do najwyżej plonującego genotypu. W pierwszym roku badań średni plon kory (2,9 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) był o 0,3 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. wyższy niż w drugim roku badań. W całym eksperymencie w zależności od genotypu i roku badań plon kory wahał się w zakresie od 1,7 do 4,1 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m., odpowiednio dla odmiany Bona w drugim roku badań i genotypu *S. americana* UWM 094 w pierwszym roku badań.

Plon drewna w całym eksperymencie był wysoki i wynosił średnio 7,0 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. Zdecydowanie najwyższy plon drewna stwierdzono u obu mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*, średnio ponad 9 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m. Natomiast najniższym plonem charakteryzował się genotyp *S. purpurea* UWM 062 (ok. 5 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.). W pierwszym roku badań średni plon drewna (7,2 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) był

nieznacznie wyższy niż w drugim roku badań. W całym eksperymencie najwyższy plon drewna ($10,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1} \text{ s.m.}$) dał mieszańiec *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 w pierwszym roku badań. Do najważniejszych substancji bioaktywnych kory wierzby należą pochodne salicylowe, głównie glikozydy salicylowe, do których zaliczana jest salicyna i jej pochodne (Tyśkiewicz i in. 2019). W korze badanych genotypów z kolekcji UWM stwierdzono występowanie salicyny (wolnej i jej pochodnych) oraz kwasu salicylowego (wolnego i związanego), jak również kwercetynę należącą do grupy flawonoidów (P3). Zawartość badanych substancji bioaktywnych w korze wierzby była istotnie różnicowana przez genotyp i rok badań oraz interakcję tych czynników. Istotnie najwyższą zawartość salicyny stwierdzono w korze mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*, średnio z dwóch lat około 29 mg g^{-1} (grupa jednorodna „A”). W drugiej grupie jednorodnej „B” pod względem zawartości tej cechy znalazła się kora *S. purpurea* UWM 062 ($26,8 \text{ mg g}^{-1}$), w trzeciej „C” *S. purpurea* UWM 166 ($13,6 \text{ mg g}^{-1}$), a w czwartej „D” *S. purpurea* cv. Bona ($9,3 \text{ mg g}^{-1}$). W korze pozostałych genotypów zawartość salicyny wynosiła poniżej 8 mg g^{-1} . W drugim roku badań średnia zawartość salicyny ($17,0 \text{ mg g}^{-1}$) była prawie dwukrotnie wyższa w porównaniu do pierwszego roku badań. Szczególnie wysoką zawartość salicyny (około 40 mg g^{-1}) stwierdzono w drugim roku badań w korze genotypu *S. purpurea* UWM 062 oraz u obu mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*.

Zawartość kwasu salicylowego w korze badanych genotypów była ona około dziesięciokrotnie niższa niż zawartość salicyny. Najwyższą zawartość kwasu salicylowego stwierdzono w korze obu mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*, średnio z dwóch lat około $3,5 \text{ mg g}^{-1}$ (grupa jednorodna „A”). W drugiej grupie jednorodnej „B” pod względem zawartości tej cechy znalazła się kora *S. purpurea* UWM 062 ($2,5 \text{ mg g}^{-1}$), w trzeciej „C” *S. purpurea* UWM 166 ($1,4 \text{ mg g}^{-1}$), a w czwartej „D” *S. purpurea* cv. Bona ($1,0 \text{ mg g}^{-1}$) oraz dwa inne genotypy. W drugim roku badań średnia zawartość kwasu salicylowego ($1,7 \text{ mg g}^{-1}$) była wyższa w porównaniu do pierwszego roku badań. Najwyższą zawartość kwasu salicylowego (około 5 mg g^{-1}) stwierdzono w drugim roku badań w korze obu mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*, a następnie u genotypu *S. purpurea* UWM 062 ($3,7 \text{ mg g}^{-1}$). Natomiast w pierwszym roku badań wartości te były około dwukrotnie niższe.

W korze badanych genotypów wierzby stwierdzono różne zawartości kwercetyny (wolnej i związanej). Najwyższą zawartość kwercetyny ($0,233 \text{ mg g}^{-1}$) stwierdzono w korze *S. americana* UWM 094 (grupa jednorodna „A”). W drugiej i trzeciej grupie jednorodnej znalazły się mieszańce *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 i UWM 193, z zawartością odpowiednio $0,200$ i $0,133 \text{ mg g}^{-1}$. Z kolei najniższą zawartość kwercetyny stwierdzono u *S. triandra* UWM 055 ($0,044 \text{ mg g}^{-1}$). W drugim roku badań średnia zawartość kwercetyny ($0,133 \text{ mg g}^{-1}$) była o 35% wyższa w porównaniu do pierwszego roku badań. Najbardziej stabilną, i jednocześnie wysoką, wartość tej cechy w obu latach badań stwierdzono w korze *S. americana* UWM 094.

Uzyskane współczynniki korelacji pomiędzy zawartościami kwercetyny i salicyny, a także kwercetyny i kwasu salicylowego były niskie, jednakże statystycznie istotne ($r = 0,52$ oraz $0,44$). Natomiast

stwierdzono silną korelację pomiędzy zawartością salicyny a zawartością kwasu salicylowego ($r = 0,97$).

Wyniki zawartości substancji bioaktywnych poddano, oprócz standardowej ANOVA, również analizie wielowymiarowej jaką była hierarchiczna analiza skupień. Dendrogram wynikowy wskazuje na zaklasyfikowanie genotypów do dwóch klastrow (skupień), przy założonym kryterium Sneath'a równym $2/3 D_{max}$. W pierwszym klastrze znalazły się dwa mieszańce międzygatunkowe *S. purpurea* × *S. daphnoides* oraz genotyp *S. purpurea* UWM 062. Genotypy te cechuje najwyższa zawartość, zarówno salicyny jak i kwasu salicylowego w korze, a także duża, zwłaszcza w drugim roku badań (choć nie najwyższa), zawartość kwercetyny. W drugim klastrze znalazły się pozostałe genotypy, przy czym gdy założono bardziej restrykcyjne kryterium Sneath'a ($1/3 D_{max}$), z tej grupy wydzielony został trzeci klastrow z jednym genotypem *S. americana* UWM 094 o najwyższej zawartości kwercetyny w korze.

Potencjalny plon substancji bioaktywnych był wypadkową plonu kory badanych genotypów oraz zawartości w niej oznaczanych związków. W związku z powyższym różnice pomiędzy badanymi genotypami były bardzo duże. Najwyższy potencjalny plon salicyny (ponad 92 kg ha^{-1}) uzyskano z uprawy obu mieszańców *S. purpurea* × *S. daphnoides*. Około dwukrotnie niższą wartość tej cechy stwierdzono dla genotypu *S. purpurea* UWM 062. Z kolei najniższy plon salicyny (tylko ok. 4 kg ha^{-1}) stwierdzono u obu genotypów z gatunku *S. triandra*. Podobne zależności pomiędzy badanymi genotypami wystąpiły w odniesieniu do potencjalnego plonu kwasu salicylowego. Z tym, że wartości tej cechy były zdecydowanie niższe i zawierały się w zakresie od $0,28$ do $11,7 \text{ kg ha}^{-1}$, odpowiednio dla genotypów *S. triandra* UWM 055 i *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 193. Z kolei potencjalny plon kwercetyny był jeszcze niższy i zawierał się w zakresie od $0,114$ do $0,905$ odpowiednio dla genotypów *S. triandra* UWM 055 i *S. americana* UWM 094. Należy dodać, że potencjalny plon wszystkich analizowanych substancji bioaktywnych uzyskany w drugim roku uprawy był wyższy w porównaniu do wartości uzyskanych w pierwszym roku, pomimo niższego plonu suchej masy kory. O wysokości potencjalnego plonu substancji bioaktywnych zadecydowała więc ich zawartość w korze, a nie plon kory.

W celu wykazania podobieństw pomiędzy badanymi genotypami wierzby w zakresie potencjalnego plonu wszystkich substancji bioaktywnych przeprowadzono hierarchiczną analizę skupień. Z analizy wynika, że genotypy wierzby można zaklasyfikować do dwóch klastrow. W jednym z nich znalazły się dwa mieszańce *S. purpurea* × *S. daphnoides* oraz *S. americana* UWM 094 dające wysokie plony związków bioaktywnych.

Skład elementarny i właściwości termofizyczne drewna wierzby były istotnie różnicowane przez czynniki (genotyp i rok badań) oraz ich interakcję. Natomiast wartość energetyczna drewna była istotnie różnicowana tylko przez te czynniki. Najwyższym ciepłem spalania (HHV) charakteryzowało się drewno genotypu *S. purpurea* × *S. daphnoides*, *S. purpurea* UWM 062 i *S. americana* UWM 094 (średnio $19,46$ – $19,53 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ s.m.}$). W drugiej grupie jednorodnej „B” znalazło się pięć kolejnych genotypów, a w trzeciej „C” dwa genotypy: *S. purpurea* UWM 168 i *S. triandra* UWM 197. W drugim

roku badań HHV (średnio 19,36 MJ kg⁻¹ s.m.) było nieznacznie, choć istotnie, wyższe w porównaniu do pierwszego roku badań. W całym eksperymencie wartość tej cechy zawierała się w przedziale od 19,07 do 19,57 MJ kg⁻¹ s.m.

Drewno z jednorocznych pędów wierzby charakteryzowało się bardzo niską zawartością popiołu, która wynosiła średnio 0,59% s.m. Najniższą wartość tej cechy (0,53% s.m.) stwierdzono u dwóch genotypów z gatunku *S. purpurea* UWM 062 i UWM 166 oraz u *S. americana* 031 (grupa jednorodna „C”). Z kolei zawartość popiołu w drewnie genotypów *S. americana* 094 i *S. triandra* 055, była o około 30% wyższa (grupa jednorodna „A”). W drugim roku badań zawartość popiołu (średnio 0,60% s.m.) była nieznacznie, choć istotnie, wyższa w porównaniu do pierwszego roku badań. Natomiast w całym eksperymencie wartość tej cechy zawierała się w przedziale od 0,48 do 0,80% s.m.

Zawartość węgla w drewnie wierzby wynosiła średnio 54,5% s.m. Najwyższą wartością tej cechy charakteryzowało się drewno genotypu *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 193, średnio 55,13% s.m. (grupa jednorodna „A”). U wszystkich genotypów wartość ta wynosiła powyżej 54% s.m. W drugim roku badań średnia zawartość węgla 54,57% s.m. była nieznacznie, choć istotnie, wyższa w porównaniu do pierwszego roku badań. W całym eksperymencie wartość tej cechy zawierała się w przedziale od 53,70 do 55,59% s.m.

Średnia zawartość wodoru w drewnie badanych genotypów zawierała się w przedziale od 6,42 do 6,55% s.m., odpowiednio dla *S. triandra* UWM 197 (grupa jednorodna „C”) i *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 (grupa jednorodna „A”). Drewno genotypu *S. triandra* UWM 197 charakteryzowało się również najniższą zawartością azotu 0,25% s.m. Istotnie najwyższą wartość tej cechy oznaczono w drewnie *S. purpurea* cv. Bona 0,36% s.m., grupa jednorodna „A”. W tej samej grupie jednorodnej znalazły się również dwa inne genotypy z gatunku *S. purpurea* oraz jeden mieszańiec międzygatunkowy. Z kolei zawartość siarki w drewnie badanych genotypów była bardzo mała i zawierała się w przedziale od 0,029 do 0,035% s.m., odpowiednio dla *S. americana* UWM 094 (grupa jednorodna „C”) i *S. purpurea* UWM 062 (grupa jednorodna „A”). W drugim roku badań średnia zawartość wodoru i azotu była wyższa, a zawartość siarki niższa w porównaniu do pierwszego roku badań. Co prawda różnice te były niewielkie, ale istotne statystycznie.

Wartość energetyczna plonu drewna w eksperymencie wynosiła średnio 135,7 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. Spośród badanych genotypów istotnie najwyższą średnią wartość energetyczną drewna (191 GJ ha⁻¹ rok⁻¹) uzyskano u mieszańca *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029. U drugiego mieszańca międzygatunkowego wartość ta była o około 11 GJ ha⁻¹ rok⁻¹ niższa. Aż siedem genotypów znalazło się w drugiej grupie jednorodnej „B”, a wartość tej cechy zawierała się w zakresie od 115 do 140 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. Natomiast do ostatniej grupy „C” należał genotyp *S. purpurea* UWM 062, dla którego wartość energetyczna plonu drewna wynosiła tylko 97 GJ ha⁻¹ rok⁻¹. W pierwszym roku badań średnia wartość energetyczna plonu drewna (138 GJ ha⁻¹ rok⁻¹) była o 5 GJ ha⁻¹ rok⁻¹ wyższa niż w drugim roku badań. Natomiast w całym eksperymencie wartość tej cechy zawierała się w przedziale od 93 do 200 GJ ha⁻¹ rok⁻¹.

Cel 4. Określenie: (i) pojemności przeciwutleniającej; (ii) zawartości sumy związków fenolowych i flawonoidów oraz (iii) potencjalnego plonu sumy substancji bioaktywnych kory dziesięciu genotypów wierzby pozyskanej w rotacjach jednorocznych.

Dotychczasowe zainteresowanie związkami bioaktywnymi wierzby wiązano głównie z glikozydami fenolowymi (glikozydami salicylowymi) o działaniu przeciwzapalnym, przeciwgorączkowym i przeciwbólowym, występującymi w korze, głównie u takich gatunków jak *Salix purpurea* i *S. alba* (Tyskiewicz i in. 2019). Niemniej jednak ostatnie badania wykazały, że ekstrakty z całych pędów (z kory i drewna) wierzby *S. viminalis* mogą wykazywać istotną bioaktywność, niezwiązaną z przeciwzapalnym działaniem salicylanów (Ostolski et al. 2021). Za pomocą nowoczesnych metod chromatograficznych możliwe jest oznaczanie poszczególnych związków bioaktywnych w materiale roślinnym. W pracy **P3**, przedstawiono wyniki ilościowych oznaczeń przedstawicieli głównych grup chemicznych substancji bioaktywnych kory wierzby (glikozydów salicylowych, kwasów fenolowych i flawonoidów). Metody chromatograficzne są jednak drogie i czasochłonne. Alternatywnymi metodami stosowanymi do badań przesiewowych są metody spektrofotometryczne. Pozwalają one na szybką ocenę zawartości sumy związków bioaktywnych należących do niektórych grup oraz, co ważniejsze, ocenę aktywności przeciwutleniającej surowców i ekstraktów. W tym zakresie, najczęściej stosowane parametry to: całkowita pojemność antyoksydacyjna (TAC), całkowita zawartość związków fenolowych (TPC), flawonoidów (TFC), garbników (TTC), flawan-3-oli (TF3L), flawanonów i dihydroflawonoli (FDC) oraz antocyjanów monomerycznych (TMA) (Zielińska i in. 2018; Tyskiewicz i in. 2019).

Materiałem badawczym w pracy **P4** była kora dziesięciu genotypów wierzby pozyskana w dwóch kolejnych jednorocznych cyklach zbioru. Genotypy oraz opis ścisłego doświadczenia polowego przedstawiono wcześniej przy omówieniu trzeciego celu cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego. Z wysuszonej i zmielonej kory sporządzono ekstrakty metanolowo-wodne (2 g kory na 25 cm³ MeOH/H₂O 60:40 v/v), które posłużyły do analiz TAC, TPC i TFC.

Całkowitą pojemność antyoksydacyjną (TAC) określono jako aktywność wychwytyjącą rodniki DPPH[•] (1,1-difenylo-2-pikrylohydrazylowy) i oznaczono metodą spektrofotometryczną (Zielińska i in. 2012; Baba, Malik 2015). Jako wzorca użyto Trolox (kwas 6-hydroksy-2,5,7,8-tetrametylochroman-2-karboksyloxy; pochodna witaminy E) w zakresie stężeń 25,2–252,0 µg cm⁻³ w 60% metanolu (v/v). W skrócie, ekstrakty z kory (0,1 cm³) zmieszano z metanolowym roztworem DPPH[•] (0,25 cm³) i mieszaninę inkubowano przez 20 minut w temperaturze pokojowej (25°C). Absorbancję mierzono przy 517 nm. TAC przeliczono na ekwiwalent Trolox (TE) w mg g⁻¹ powietrznie suchej kory.

Całkowitą zawartość związków fenolowych (TPC) oznaczono metodą Folina-Ciocalteu w metanolowo-wodnym ekstrakcie kory wierzby (Baba, Malik 2015; Zielińska i in. 2018). W skrócie, zmieszano w probówce wyciąg z kory lub ślepią próbę (0,09 cm³), odczynnik Folina-Ciocalteu (0,09 cm³), nasycony roztwór Na₂CO₃ (0,18 cm³) i wodę destylowaną (1,44 cm³). Mieszaninę inkubowano przez 30 minut w

temperaturze pokojowej (25°C). Następnie zmierzono absorbancję przy długości fali 725 nm. Wzorcem był kwas galusowy. Krzywą wzorcową sporządzono w zakresie stężeń 8,6–86,0 $\mu\text{g cm}^{-3}$. Wyniki wyrażono jako równoważnik kwasu galusowego (GAE) w mg g^{-1} powietrznie suchej kory.

Ogólną zawartość flawonoidów (TFC) w ekstrakcie z kory określono metodą spektrofotometryczną z chlorkiem glinu (Baba, Malik 2015; Zielińska i in. 2018). W skrócie, ekstrakt z kory (próbka) lub ślepa próba (1,23 cm^3) zmieszano w probówce z wodą destylowaną (1,25 cm^3) i 5% (w/v) roztworem NaNO_2 (0,062 cm^3). Następnie dodano 10% roztwór AlCl_3 (0,123 cm^3). Mieszaninę inkubowano przez 6 minut w temperaturze pokojowej (25°C). Następnie dodano 0,41 cm^3 roztworu NaOH (1 mol dm^{-3}). Mieszaninę wirowano przez 10 minut przy 2000 g. Następnie zmierzono absorbancję przy 510 nm wobec (-)-katechiny jako wzorca odniesienia. Krzywą wzorcową sporządzono w zakresie stężeń 7,6–76,0 $\mu\text{g cm}^{-3}$. Wyniki wyrażono jako ekwiwalent katechin (CE) w mg g^{-1} powietrznie suchej kory. Wszystkie pomiary wykonano w trzech powtórzeniach analitycznych.

Dodatkowo na podstawie plonu suchej kory (P3) i zawartości sumy związków bioaktywnych (P4) obliczono potencjalny plon całkowitej zawartości fenoli i flawonoidów.

Na podstawie przeprowadzonych badań (P4) stwierdzono, że pojemność przeciwutleniająca, całkowita zawartość flawonoidów i związków fenolowych, a także potencjalne plony sumy substancji bioaktywnych były istotnie zróżnicowane w zależności od genotypu i roku oraz ich interakcji.

Kora niektórych genotypów wierzby charakteryzowała się wysoką aktywnością przeciwutleniającą (antyoksydacyjną). Pojemność antyoksydacyjna kory wierzby była najwyższa dla *S. triandra* UWM 197 i wynosiła średnio 89,39 mg g^{-1} TE. Do drugiej grupy jednorodnej „B” należała kora dwóch genotypów *S. americana* UWM 094 (59,60 mg g^{-1} TE) i *S. triandra* UWM 055 (41,24 mg g^{-1} TE). Najniższy TAC stwierdzono u *S. purpurea* cv. Bona (10,92 mg g^{-1} TE). Średni TAC w drugim roku (41,45 mg g^{-1} TE) był istotnie wyższy niż w pierwszym roku (o około 43%). Szczególnie wysoki TAC stwierdzono w drugim roku badań w korze *S. triandra* UWM 197 (99,83 mg g^{-1} TE). Natomiast najniższą wartość stwierdzono u *S. purpurea* cv. Bona w pierwszym roku badań (tylko 7,38 mg g^{-1} TE).

Najwyższą TFC (7,15 mg g^{-1} CE) stwierdzono w korze *S. purpurea* UWM 166. Do drugiej jednorodnej grupy należał genotyp *S. purpurea* UWM 168 oraz mieszańiec UWM 193. Najniższą TFC (średnio 1,56 mg g^{-1} CE) stwierdzono w korze *S. triandra* UWM 055. Średnia TFC w drugim roku badań (5,65 mg g^{-1} CE) była o 25% wyższa niż w pierwszym roku. W całym doświadczeniu wahała się od 1,10 do 8,10 mg g^{-1} CE, w zależności od genotypu i roku badań. W badaniach innych autorów TFC w korze *S. purpurea* i *S. daphnoides* wynosiło odpowiednio 3,0–5,3 i 8,4–14,4 mg g^{-1} (Paunonen i in. 2009, Köhler i in. 2020). Brereton i in. (2017) wykazali, że biomasa pędów dwuletnich *S. viminalis*, *S. dasyclados* i *S. miyabeana* zawiera 0,01–0,38 mg g^{-1} flawonoidów.

Całkowita zawartość fenoli w korze wierzby z pędów jednorocznych była wyższa niż TFC (P4). Kora *S. triandra* UWM 197 zawierała najwyższe poziomy TPC średnio 48,16 mg g^{-1} GAE (grupa jednorodna „A”). Do drugiej grupy jednorodnej „B” należała kora dwóch genotypów *S. purpurea* × *S. daphnoides* (ponad 36 mg g^{-1} GAE) i *S. americana* UWM 094 (ponad 35 mg g^{-1} GAE). Najniższą TPC stwierdzono

u *S. purpurea* cv. Bona (17,58 mg g⁻¹ GAE). Średnia TPC w drugim roku (36,70 mg g⁻¹ GAE) była o prawie 67% wyższa niż w pierwszym roku (21,99 mg g⁻¹ GAE). Szczególnie wysoką TPC (59,57 mg g⁻¹ GAE) stwierdzono w drugim roku badań w korze *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 i *S. triandra* UWM 197 (54,36 mg g⁻¹ GAE). W badaniach niemieckich wykazano, że kora *S. purpurea* i *S. daphnoides* zawiera odpowiednio 47,5–81,3 i 67,8–84,8 mg g⁻¹ ogółem fenoli (Köhler et al. 2020). TPC w korze jednorocznych pędów *S. pyrolifolia* wynosiła 289 mg g⁻¹ (Lavola i in. 2018).

TAC była istotnie dodatnio skorelowana z TPC ($r = 0,79$), a TPC była istotnie dodatnio skorelowana z TFC. W wielu badaniach stwierdzono pozytywną i istotną korelację między TAC i TPC surowców roślinnych i ekstraktów (Kiselova i in. 2006, Jež i in. 2018, Zielińska i in. 2018, Ostolski i in. 2020). Wynika to z faktu, że związki fenolowe są głównymi przeciwutleniaczami roślinnymi, obok związków takich jak kwas askorbinowy, tokoferole i karotenoidy (Shahidi, Zhong 2015, Orsavová i in. 2019).

Na podstawie plonu suchej kory i zawartości składników obliczono potencjalny plon sumy fenoli (TPY) i sumy flawonoidów (TFY). Generalnie można stwierdzić, że TPY było kilkakrotnie wyższe niż TFY (P4). Najwyższy TPY uzyskano z *S. americana* UWM 094 i *S. triandra* UWM 197 (prawie 137 kg ha⁻¹). Dwa mieszańce *S. purpurea* × *S. daphnoides* również zaliczono do pierwszej grupy jednorodnej „A”. Kolejne pięć genotypów zaliczono do drugiej grupy jednorodnej. Najniższą TPY (34,52 kg ha⁻¹) wytwarzała *S. purpurea* cv. Bona. TPY był wyższy o 44% w drugim roku (97,47 kg ha⁻¹) w porównaniu do pierwszego roku doświadczenia. Również całkowita zawartość fenoli była wyższa w drugim roku i w konsekwencji zawartość substancji miała wpływ na TPY. W całym doświadczeniu TPY wahało się od 21,72 do 180,21 kg ha⁻¹, odpowiednio dla *S. purpurea* cv. Bona w pierwszym roku i *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 w drugim roku.

Najwyższy TFY uzyskano z kory genotypu *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 193 (21,27 kg ha⁻¹). Kolejne pięć genotypów zaliczono do drugiej grupy jednorodnej „B” (zakres od 15,62 do 18,52 kg ha⁻¹). Kolejne trzy genotypy zaliczono do trzeciej jednorodnej grupy „C”. Najmniejszy TFY (3,97 kg ha⁻¹) wytwarzała *S. triandra* UWM 055. TFY był również wyższy o 10% w drugim roku (14,62 kg ha⁻¹) niż w pierwszym roku doświadczenia. W całym doświadczeniu TFY wahało się od 2,94 do 21,64 kg ha⁻¹, odpowiednio dla *S. triandra* UWM 055 w pierwszym roku i *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 w drugim roku.

Plon związków bioaktywnych jest bardzo ważnym parametrem decydującym o wykorzystaniu genotypów w uprawie do celów farmaceutycznych i/lub dietetycznych. Paunonen i in. (2009) ocenili plon glikozydów fenolowych w *S. myrsinifolia* na poziomie 122–825 kg ha⁻¹. Natomiast całkowity plon flawonolu w *S. dasyclados* i *S. miyabeana* wynosił odpowiednio 0,1 i 2,25 kg ha⁻¹ (Brereton i in. 2017). Należy podkreślić, że flawonole są podklasą flawonoidów, dlatego cytowane wartości są znacznie niższe niż TFY uzyskane w niniejszych badaniach (P4).

Cel 5. Ocena: (i) właściwości termofizycznych i (ii) chemicznych peletów wyprodukowanych z różnych rodzajów lignocelulozowej biomasy poekstrakcyjnej (po ekstrakcji nadkrytycznym CO₂) i nieekstrahowanej pozyskanej z pięciu gatunków WRP.

Surowcem do produkcji peletów było pięć gatunków WRP, w tym trzy z grupy drzew i krzewów: wierzba (*Salix viminalis* L.), odmiana Ekotur; wierzba (*S. purpurea* L.), odmiana Bona; topola (*Populus nigra* × *P. maximowiczii* Henry), klon Max-5 oraz słonecznik wierzbolistny (*Helianthus salicifolius* A. Dietr) z grupy bylin i miskant olbrzymi (*Miscanthus* × *giganteus* J.M. Greef & M. Deuter) z grupy traw (P5). Biomasa z grupy drzew i krzewów stanowiły jednoroczne bezlistne pędy zebrane pod koniec lutego 2019 r., z tym że z tego surowca pozyskano trzy różne rodzaje biomasy tj. całe pędy składające się z kory i drewna (oznaczone w P5 jako b+w – bark+wood); tylko korę (b – bark); tylko drewno (w – wood). Natomiast zielona biomasa (gb – green biomass) słonecznika wierzbolistnego i miskanta olbrzymiego była pozyskana pod koniec czerwca 2019 r. Bezpośrednio po zbiorze każda biomasa była suszona w 40°C. Po wysuszeniu była ona rozdrabniana do frakcji zrębków o długości 1–3 cm i następnie mielona w młynku bijakowym na sicie 6 mm. Kolejnym etapem było poddanie biomasy procesowi przygotowania metodą ekstrakcji nadkrytycznej. Ekstrahentem był CO₂ w stanie nadkrytycznym (scCO₂) z dodatkiem wody użytej jako współrozpuszczalnik. Proces ekstrakcji prowadzono w celu pozyskania substancji bioaktywnych z biomasy, co było celem realizowanego projektu, a nie było celem badań w tej pracy. Natomiast w ramach prezentowanych w tej pracy badań oceniano przydatność biomasy poekstrakcyjnej do produkcji peletu. W związku z powyższym surowcem wyjściowym do produkcji peletu była biomasa poekstrakcyjna (SFE – supercritical fluid extraction) oraz dla porównania biomasa niepoddana ekstrakcji (NE – extracted biomass). Łącznie wyprodukowano 20 rodzajów peletu, w tym: dziesięć z biomasy poekstrakcyjnej oraz dziesięć z biomasy przed ekstrakcją. Proces peletyzacji przeprowadzono na granulatorze o wydajności do 350 kg h⁻¹, zasilanym silnikiem o mocy 30 kW. Granulator wyposażony był w poziomą matrycę o średnicy oczek 6 mm i długości 27 mm. W trakcie produkcji peletu z każdego rodzaju biomasy pobierano po trzy próby peletu, które pakowano w worki foliowe i transportowano do laboratorium UWM w celu oznaczenia ich właściwości termofizycznych i składu chemicznego, w tym: długość, gęstość nasypową, wytrzymałość mechaniczną, frakcję drobną, wilgotność, ciepło spalania, wartość opałową, zawartość popiołu, zawartość węgla związanego i części lotnych, zawartość węgla, wodoru, siarki, azotu, chloru, zawartość substancji rozpuszczalnych w zimnej i w gorącej wodzie, zawartość hemiceluloz, celulozy i ligniny. Wszystkie analizy laboratoryjne wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju peletu, a więc łącznie wykonano po 60 analiz dla każdego ocenianego parametru. Cały zakres badań oraz metody oceny właściwości biomasy przedstawiono szczegółowo pracy P5.

Wszystkie analizowane właściwości termofizyczne peletu były istotnie różnicowane przez rodzaj biomasy oraz sposób jej przygotowania. Również interakcja czynników głównych istotnie różnicowała większość badanych cech oprócz zawartości popiołu. Wszystkie rodzaje peletu z biomasy SFE

charakteryzowały się większą długością, wytrzymałością mechaniczną i mniejszą ilością frakcji drobnej w porównaniu do peletów wyprodukowanych z biomasy NE. Również gęstość nasypowa większości peletów z biomasy SFE, oprócz peletu z drewna topoli, była wyższa w porównaniu do peletów z biomasy NE. Istotnie najwyższą gęstością nasypową (660–670 kg m⁻³) charakteryzowały się pelety z poekstrakcyjnej kory oraz drewna z korą wierzby Ekotur i biomasy SFE słonecznika wierzbolistnego. Z kolei istotnie najniższą wartość tej cechy (499 kg m⁻³) oznaczono dla peletu z NE biomasy topoli. Generalnie pelet z biomasy SFE charakteryzował się średnio większą długością, gęstością nasypową, wytrzymałością mechaniczną i mniejszą ilością frakcji drobnej w porównaniu do peletu z biomasy przed ekstrakcją, o odpowiednio 83%, 11%, 2% i 58%. Na podstawie wyników niniejszych badań oraz danych literaturowych (Monedero i in. 2015; Gehrig i in. 2019) można wnioskować, że pelet z poekstrakcyjnej biomasy drzew i krzewów charakteryzował się korzystniejszymi właściwościami mechanicznymi w porównaniu do peletu z biomasy nieekstrahowanej. Natomiast pelet ze słomy miskanta charakteryzował się wyższą gęstością nasypową (Kallis i in. 2013; Pham i in. 2018) w porównaniu do peletu z zielonej biomasy tego samego gatunku z badań własnych (P5), niezależnie od sposobu przygotowania biomasy. Zawartość popiołu była wyraźnie wyższa dla peletów wyprodukowanych z zielonej biomasy słonecznika wierzbolistnego (średnio 9,92% s.m.) i miskanta olbrzymiego (średnio 6,85% s.m.) w porównaniu do biomasy drzew i krzewów. Z tym, że w przypadku biomasy drzew i krzewów pelet z kory charakteryzował się zdecydowanie wyższą zawartością popiołu (ok. 4% s.m.) w porównaniu do peletu z kory+drewna (ok. 2% s.m.) i samego drewna (ok. 1% s.m.). Najniższą wartość tej cechy (średnio 0,82% s.m.) stwierdzono w pelecie z drewna wierzby odmiany Bona. Z kolei pelet z kory NE tego samego gatunku charakteryzował się najwyższą wartością ciepła spalania (20,05 MJ kg⁻¹ s.m.) w porównaniu do pozostałych rodzajów peletu. Zdecydowanie najniższe wartości tego parametru stwierdzono w przypadku peletów z biomasy słonecznika wierzbolistnego. Natomiast po uwzględnieniu wilgotności i zawartości wodoru w peletach stwierdzono, że najwyższą wartością opałową (17,40 MJ kg⁻¹) charakteryzował się pelet z SFE biomasy (b+w) wierzby odmiany Ekotur, ze względu na jego najniższą wilgotność. Istotnie najniższą wartość tej cechy stwierdzono dla peletu z SFE biomasy słonecznika wierzbolistnego i była ona o 15% niższa w porównaniu do najwyższej wartości tej cechy. Generalnie pelety z biomasy SFE charakteryzowały się średnio większą zawartością węgla związanego (o 3,5%) i niższą wilgotnością (o 3,6%), zawartością popiołu (o 1,9%), zawartością części lotnych, ciepłem spalania i wartością opałową (o ok. 1%) w porównaniu do peletów z biomasy NE. Również w innych badaniach wykazano niewielkie zmniejszenie ciepła spalania biomasy drzew i krzewów po ekstrakcji scCO₂/H₂O (Stolarski i in. 2020) oraz peletów z trocin sosnowych po ekstrakcji czystym scCO₂ (Attard i in. 2016). W innych badaniach stwierdzono, że ekstrakcja biomasy wierzby gorącą wodą (hot water extraction HWE) spowodowała zmniejszenie zawartości popiołu poniżej 1%, a ponadto wzrost wartości energetycznej o około 1 MJ kg⁻¹ peletu (Eisenbies i in. 2019).

W badaniach własnych (P5) stwierdzono, że pelet z biomasy SFE charakteryzował się średnio niższą zawartością C, H, N, S i wyższą zawartością Cl o odpowiednio 1,0; 0,7; 3,4; 6,2 i 29,0% w porównaniu

do peletu z biomasy NE. Pelet z NE drewna wierzby odmiany Bona zawierał najwięcej C i H, odpowiednio 55,5 i 6,2% s.m. Z kolei istotnie najniższe zawartości tych pierwiastków stwierdzono w pelecie z zielonej biomasy słonecznika wierzbolistnego. Pelet tego samego gatunku charakteryzował się ponadto istotnie najwyższą zawartością N, zarówno w wariancie przed i po ekstrakcji, odpowiednio 2,3 i 2,2% s.m. Również pelet z zielonej biomasy miskanta olbrzymiego charakteryzował się wysoką zawartością N (1,8–1,9% s.m.). Z kolei spośród peletów z biomasy szybko rosnących drzew i krzewów najwyższe zawartości N stwierdzono w peletach z kory (1,3–1,7% s.m.), następnie z kory+drewno (0,6–0,8% s.m.), a najniższe – w pelecie z drewna, ok. 0,4% s.m. Pelet z NE kory wierzby Ekotur charakteryzował się najwyższą zawartością siarki 0,108% s.m. Podobne poziomy tego pierwiastka stwierdzono w pelecie z kory drugiego gatunku wierzby oraz w pelecie z zielonej biomasy miskanta olbrzymiego. Podobnie jak to było w przypadku zawartości azotu, zawartość siarki była istotnie najniższa w peletach z drewna szybko rosnących drzew i krzewów i wartość ta była ponad 4-krotnie niższa w porównaniu do najwyższej zawartości tego pierwiastka. Natomiast zawartość chloru była istotnie najwyższa (0,637% s.m.) w pelecie z SFE zielonej biomasy miskanta olbrzymiego. Zawartość tego pierwiastka w pelecie tego samego gatunku z NE biomasy oraz w obu rodzajach peletu słonecznika wierzbolistnego, była ok. 34% niższa. Natomiast w peletach z biomasy szybko rosnących drzew i krzewów zawartość Cl była nawet kilkudziesięciokrotnie (14–53-krotnie) niższa w porównaniu do peletów z zielonej biomasy.

Pelet z biomasy SFE charakteryzował się średnio niższą zawartością substancji rozpuszczalnych w zimnej wodzie, gorącej wodzie, pozostałych substancji, hemiceluloz o odpowiednio 3,4; 5,6; 3,0; 2,0% w porównaniu do peletu z biomasy NE. Natomiast zawartość celulozy i ligniny była wyższa o odpowiednio 3,0 i 7,9%. Pelet z NE zielonej biomasy słonecznika wierzbolistnego zawierał najwięcej substancji rozpuszczalnych w zimnej i w gorącej wodzie, odpowiednio 35,04 i 42,53% s.m. Również pelet tego samego gatunku z biomasy SFE charakteryzował się istotnie wyższymi wartościami tych cech w porównaniu do pozostałych rodzajów peletu. Z grupy szybko rosnących drzew i krzewów najmniej substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie stwierdzono w pelecie z drewna, a najwięcej w pelecie z kory. Ponadto pelet z kory trzech gatunków szybko rosnących drzew i krzewów charakteryzował się wyższymi zawartościami pozostałych substancji, również w porównaniu do peletu z zielonej biomasy. Natomiast zawartość hemiceluloz była istotnie najwyższa (37,1% s.m.) w pelecie z NE zielonej biomasy miskanta olbrzymiego, a po ekstrakcji wartość ta była o 3 pp. niższa. Wysokie wartości tej cechy oznaczono również w pelecie z drewna wierzby odmiany Bona i topoli, odpowiednio ok. 31 i 29% s.m. Natomiast najmniej hemiceluloz (11,7% s.m.) oznaczono w pelecie z kory wierzby odmiany Ekotur. Z kolei najwyższą zawartością celulozy (40,53% s.m.) charakteryzował się pelet z drewna wierzby odmiany Bona, a dla peletu z drewna NE wartość ta była o 0,5 pp. niższa. Również pelet z drewna topoli zawierał ponad 39% s.m. celulozy. Natomiast pelety z biomasy (b+w) zawierały od 34 do 37% s.m. celulozy. Z kolei, najniższą zawartość tego biopolimeru oznaczono w zielonej biomacie słonecznika wierzbolistnego, średnio 18,62% s.m. Ten sam pelet zawierał najmniej ligniny,

średnio 6,47% s.m. Równie niską zawartością ligniny charakteryzowały się pelety z zielonej biomasy miskanta olbrzymiego, niezależnie od sposobu pretreatmentu biomasy. Natomiast zdecydowanie najwyższą zawartość ligniny (26,99% s.m.) oznaczono w pelecie z SFE kory wierzby odmiany Ekotur, a przed ekstrakcją wartość ta była nieznacznie niższa o 1,3 pp. Niższa zawartość substancji rozpuszczalnych w wodzie oraz wyższa zawartość składników strukturalnych (ligniny i celulozy) w peletach z biomasy SFE w porównaniu do biomasy NE, wynikała z charakteru procesu obróbki wstępnej. Zastosowanie w badaniach własnych, współrozpuszczalnika w postaci wody, w procesie ekstrakcji nadkrytycznym CO₂ spowodowało częściowe wyekstrahowanie substancji hydrofilnych, czego skutkiem było obniżenie ich zawartości w biomase poekstrakcyjnej. Częściowe usunięcie substancji rozpuszczalnych z biomasy, zwiększało zawartość strukturalnych składników biomasy.

Podsumowując w badaniach własnych stwierdzono, że rodzaj biomasy WRP istotnie wpływał na jakość wyprodukowanych peletów, a ekstrakcja biomasy może być pewnego rodzaju obróbką wstępną (pretreatmentem), która powoduje poprawę jakości surowca do produkcji peletu, a w konsekwencji jego jakość jako surowca energetycznego. Należy jednak podkreślić, że zastosowanie ekstrakcji nadkrytycznej tylko w celu poprawy właściwości peletów byłoby nieuzasadnione ekonomicznie i środowiskowo. Taka technologia może być brana pod uwagę tylko w przypadku kaskadowego wykorzystania biomasy lignocelulozowej, uzyskując wartość dodaną w postaci ekstraktów o wysokiej aktywności biologicznej (Malm i in. 2020; Ostolski i in. 2021) lub o interesujących składzie chemicznym (Attard i in. 2018).

4.3.4. Podsumowanie

1. Plon biomasy, jego wartość energetyczna oraz jakość drewna topoli z gatunku *Populus balsamifera* uprawianej, w warunkach północno-wschodniej Polski, na cele energetyczne były różnicowane zarówno przez klon jak również przez rotację zbioru oraz współdziałanie tych czynników. Stwierdzono, że w pierwszej 4-letniej rotacji zbioru plon biomasy i jego wartość energetyczna były stosunkowo niskie. Natomiast w drugiej 4-letniej rotacji nastąpił wyraźny, zdecydowany wzrost wartości tych cech o 260–290%. Spośród badanych klonów zdecydowanie największą wartość energetyczną plonu biomasy dał klon UWM 2 w drugiej rotacji zbioru (230,6 GJ ha⁻¹ rok⁻¹). Wartość tej cechy dla pozostałych klonów była niższa o 27–47%. Analiza jakości biomasy wykazała, że drewno topoli charakteryzowało się niską zawartością popiołu, siarki, azotu i chloru. W związku z powyższym można wnioskować, że w warunkach północno-wschodniej Polski możliwa jest uprawa topoli o wysokiej wartości energetycznej plonu i korzystnych z energetycznego punktu widzenia właściwościach biomasy.

2. W 12 letnich badaniach stwierdzono, że w warunkach północno-wschodniej Polski, jedną z alternatyw jest stosowanie odnawialnych biopaliw stałych (zrębków wierzbowych, brykietu czy peletu) do produkcji energii cieplnej, ponieważ paliwa te były konkurencyjne w stosunku do paliw kopalnych

głównie gazu ziemnego i oleju opałowego, a zrębki wierzbowe również w stosunku do węgla. Średnio roczne koszty generowania energii cieplnej dla domu ze zrębków wierzbowych za okres 12 lat wynosiły 522 € rok⁻¹. Natomiast produkcja energii cieplnej dla domu z bardziej przetworzonych biopaliw stałych, czyli brykietu i peletu było droższe, średnio o odpowiednio ok. 42% i 121%. Również wykorzystanie paliw kopalnych zwiększało koszty generowania energii cieplnej dla domu w porównaniu do zrębków wierzbowych, średnio w przedziale od ok. 64% do prawie 372%, odpowiednio w przypadku węgla i oleju opałowego.

3. Badania wykazały, że możliwe jest pozyskiwanie pędów wierzby (*Salix* spp.) w jednorocznych rotacjach zbioru w celu pozyskania z nich kory jako surowca do produkcji substancji bioaktywnych oraz drewna jako surowca energetycznego. Średni plon kory i drewna kształtował się na poziomie odpowiednio około 3 i 10 Mg ha⁻¹ rok⁻¹, przy czym dla najlepszych genotypów wartości te były nawet o 30% wyższe. Na uwagę zasługuje fakt, że najlepsze efekty pod względem plonu kory i substancji bioaktywnych (salicyny, kwasu salicylowego i ich pochodnych) oraz plonu drewna i jego wartości energetycznej uzyskano dla dwóch mieszańców międzygatunkowych *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 029 i UWM 193. Plon salicyny wynosił u obu tych mieszańców ponad 92 kg ha⁻¹. Genotypy te dały lepsze efekty niż na przykład genotypy z gatunku *S. purpurea* co świadczy o możliwościach dalszego poszukiwania kolejnych mieszańców, które będą potencjalnie bardziej wartościowe niż czyste gatunki.

4. Badania potwierdziły, że różnorodność gatunków i genotypów wierzby oraz rok zbioru roślin są bardzo ważnymi czynnikami wpływającymi na przydatność kory jako źródła substancji bioaktywnych. Pojemność antyoksydacyjna (TAC) kory wierzby była najwyższa dla *S. triandra* UWM 197 i wynosiła średnio z dwóch lat 89,39 mg g⁻¹ TE. W całym okresie badań TAC wahała się w szerokim zakresie od 7,38 do 99,83 mg g⁻¹ TE, odpowiednio dla kory *S. purpurea* cv. Bona w pierwszym roku badań oraz *S. triandra* w drugim roku badań. Najwyższą całkowitą zawartość flawonoidów (TFC) stwierdzono w korze *S. purpurea* UWM 166. Natomiast całkowita zawartość fenoli (TPC), podobnie jak TAC, były najwyższe w przypadku *S. triandra* UWM 197. Potencjalny plon sumy fenoli (TPY) był kilkakrotnie wyższy niż plon sumy flawonoidów (TFY). Najwyższy TPY uzyskano z *S. americana* UWM 094 i *S. triandra* UWM 197, blisko 137 kg ha⁻¹. Najwyższy TFY uzyskano z kory genotypu *S. purpurea* × *S. daphnoides* UWM 193 (21,3 kg ha⁻¹). Średnie TFC, TPC, ich potencjalne plony oraz TAC w drugim roku były wyższe niż w pierwszym.

5. Potwierdzono zasadność kaskadowego wykorzystania lignocelulozowej biomasy wieloletnich roślin przemysłowych (WRP). Stwierdzono, że ekstrakcja nadkrytyczna (SFE) biomasy WRP przeprowadzona w celu pozyskania z niej ekstraktów zawierających substancje bioaktywne, stanowiła jednocześnie pewnego rodzaju korzystną obróbkę wstępną (pretreatment) późniejszego jej

wykorzystania w produkcji biopaliwa stałego. Wykazano bowiem istotny wpływ nie tylko rodzaju biomasy (kora, drewno, drewno+kora, zielona biomasa), ale również sposobu jej pretreatmentu (biomasa przed ekstrakcją, biomasa poekstrakcyjna) na praktycznie wszystkie badane właściwości peletu. Z punktu widzenia rodzaju biomasy wydzielone zostały trzy grupy peletów z WRP: (i) pelety z drewna i mieszaniny drewna+kory szybko rosnących drzew i krzewów; (ii) pelety z samej kory; (iii) pelety z zielonej biomasy słonecznika wierzboлистnego i miskanta olbrzymiego. Z punktu widzenia wstępnego przygotowania biomasy stwierdzono, że pelet z biomasy poekstrakcyjnej charakteryzował się średnio większą długością, gęstością nasypową, wytrzymałością mechaniczną, zawartością węgla związanego, zawartością celulozy, ligniny, chloru i niższą wilgotnością, zawartością popiołu, zawartością części lotnych, ciepła spalania, wartością opałową, zawartością C, H, N, S, frakcji drobnej, zawartością substancji rozpuszczalnych, hemiceluloz w porównaniu do peletu z biomasy nieekstrahowanej. Dlatego też badania wykazały, że lignocelulozowa biomasa WRP może być z powodzeniem wykorzystywana kaskadowo, a biomasa poekstrakcyjna jest pełnowartościowym biosurowcem i ma potencjał do rozszerzenia rodzajów surowców, które można wykorzystać do produkcji peletu, przy jednoczesnym poprawieniu wybranych cech jakościowych tego biopaliwa stałego.

6. Badania przeprowadzone w ramach omawianego osiągnięcia naukowego wykazały i potwierdziły, że w warunkach północno-wschodniej Polski możliwa jest produkcja WRP, a kaskadowe wykorzystanie tej lignocelulozowej biomasy w kierunku pozyskiwania ekstraktów i substancji bioaktywnych, oraz jej wykorzystanie na cele energetyczne jest w pełni możliwe i uzasadnione. W związku z tym uprawa WRP oraz wielokierunkowe wykorzystanie ich biomasy może być jednym z ważnych elementów w rozwoju biogospodarki.

4.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

4.4.1. Osiągnięcia naukowo-badawcze w okresie przed uzyskaniem stopnia doktora

Badania realizowane przez habilitanta przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora (do 2003 r.) koncentrowały na zagadnieniach działania plonochronnego chemicznej ochrony roślin oleistych (rzepaku jarego i gorzycy białej) oraz jej wpływu na jakość nasion. Część wyników tych badań opublikowano przed uzyskaniem stopnia doktora (przed 2003 r.), a część po jego uzyskaniu (w 2004 i 2005 r.). Na podstawie przeprowadzonych kilkuletnich badań stwierdzono, że stosowana chemiczna ochrona roślin może w niektórych przypadkach modyfikować jakość nasion rzepaku jarego i gorzycy białej oraz pozyskiwanego z nich oleju. Dotyczy to zarówno wpływu pozytywnego jak i negatywnego. W artykule A1 (załącznik nr 4, pkt. II.4) udowodniono, że zawartość tłuszczu w nasionach rzepaku wzrastała pod wpływem herbicydu Butisan 400 SC, chociaż udziały kwasów tłuszczowych były

zbliżone do wartości odnotowanych w obiekcie kontrolnym. Z kolei, w pracy **A2** badano wpływ zastosowanej chemicznej ochrony przed chwastami na zawartość glukozyolanów w nasionach rzepaku jarego. Nie wykazano, w tym zakresie, istotnych różnic pomiędzy badanymi obiektami herbicydowymi a obiektem kontrolnym. W innym doświadczeniu (**A6**) również nie wykazano wpływu ochrony (kompleksowej) rzepaku jarego na poziom białka ogólnego, zawartość tłuszczu oraz udziały poszczególnych kwasów tłuszczowych w nasionach. Jednak w innej pracy (**A5**) wykazano, że kombinacje ochronne z herbicydami niekorzystnie oddziaływały, zarówno po przedzbiorczym zastosowaniu Roundup Ultra 360 SL, jak i przedwzrostowej aplikacji herbicydu Butisan 400 SC, na proporcje kwasów tłuszczowych, obniżając udział kwasów nienasyconych. W tym samym doświadczeniu nie wykazano istotnych zmian w zawartości białka, tłuszczu, udziale lipidów niepolarnych, gliko- i fosfolipidów pod wpływem stosowanych herbicydów, insektycydów i fungicydów. Z kolei zdecydowanie korzystny wpływ ochrony rzepaku jarego przed szkodnikami wykazano w zakresie trwałości przechowalniczej oleju (**A8**). Badania te wykazały nieznaczny wpływ zastosowanej ochrony rzepaku jarego na profil kwasów tłuszczowych, zawartość tokoferoli w oleju oraz początkowe wartości liczby anizydynowej i nadtlenkowej, jednak zaniechanie ochrony przed szkodnikami rzepaku wysoce istotnie wpłynęło na poziom chlorofilu (barwę oleju), a przez to znacząco pogorszyła się stabilność oksydacyjną oleju (trwałość przechowalnicza). Spowodowane to było uszkodzeniami organów generatywnych, zwłaszcza przez słodyszka rzepakowego, co w konsekwencji doprowadziło do opóźnionego i nierównomiernego dojrzewania nasion i zwiększenia udziału nasion niedojrzałych (zielonych). Brak ochrony przed szkodnikami wpływał również na obniżenie zawartości tłuszczu o 1,8–2,8 pp. w porównaniu z obiektami, w których taką ochronę stosowano (**A9**). Zawartość pozostałych składników nasion (białka ogólnego i glukozyolanów) nie była modyfikowana stosowanymi środkami ochrony roślin. Z kolei chemiczna ochrona rzepaku jarego może w niektórych kombinacjach zwiększać zawartość fosforu w oleju rzepakowym, co jest niekorzystne z technologicznego punktu widzenia (**A4**). W tym samym trzyletnim doświadczeniu połowym, najsilniejsze działanie plonochronne wykazano w przypadku kompleksowej ochrony rzepaku jarego przed szkodnikami, chorobami i chwastami. Szeregując czynniki biotyczne od najbardziej do najmniej obniżających plon nasion stwierdzono następującą kolejność: szkodniki, chwasty, choroby. Związane to było z silną redukcją organów generatywnych głównie przez słodyszka rzepakowego (*Meligethes aeneus* F.), objawiającą się zmniejszeniem liczby łuszczyń na pędzie głównym i liczby nasion w łuszczyńce (**A7**).

Przed uzyskaniem stopnia doktora, wnioskodawca brał udział również w innej działalności naukowej, poza wyżej wymienioną tematyką związaną z tytułem rozprawy doktorskiej. Uczestniczył w badaniach m.in. wpływu chemicznej regulacji zachwaszczenia na zawartość białka, tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych w nasionach gorczycy białej (**A4**). Stwierdzono, że stosowane preparaty modyfikowały udział sumy kwasów tłuszczowych nasyconych oraz kwasu oleinowego w oleju z nasion gorczycy, jednakże w niewielkim stopniu. Oprócz tego, w kręgu zainteresowań, była ekotoksykologia środków

ochrony roślin. W 2000 roku zaprezentował dwa postery poświęcone tej tematyce podczas konferencji naukowej (załącznik nr 4, pkt. 7.2. **PK1 a, b**). Był też członkiem komitetu organizacyjnego tej konferencji (załącznik nr 4, pkt. 8).

4.4.2. Osiągnięcia naukowo-badawcze w okresie po uzyskaniu stopnia doktora

W ramach współpracy badawczo-naukowej pomiędzy Katedrą Genetyki, Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców oraz Katedrą Chemii (obie katedry z Wydziału Rolnictwa i Leśnictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie) prowadzono inne liczne badania w zakresie biogospodarki oraz odnawialnych źródeł energii. Do najważniejszych osiągnięć i stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo, można zaliczyć:

A). Badania w zakresie oceny wpływu formy i dawki nawożenia na plonowanie wybranych gatunków WRP (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuł **A27).**

W tych badaniach analizowano wpływ trzech form pofermentu z biogazowni rolniczej oraz nawozów mineralnych na plon 4 gatunków WRP (topinambur, ślázowiec pensylwański, słonecznik wierzbolistny i miskant olbrzymi) i efektywność wykorzystania azotu (N) w trzech kolejnych cyklach zbioru. Formami nawożenia były: poferment mokry, poferment suchy, poferment toryfikowany, nawożenie mineralne oraz kontrola (bez nawożenia). Poziomy nawożenia N wynosiły: 85 i 170 kg ha⁻¹. Nawożenie WRP, z wyjątkiem miskanta olbrzymiego, oraz zwiększenie dawki azotu generalnie zwiększyło plon w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Najwyższy plon 15 Mg ha⁻¹ s.m. słonecznika wierzbolistnego uzyskano w trzecim roku stosowania nawozów mineralnych, suchego pofermentu i na obiekcie kontrolnym. Plon miskanta olbrzymiego i ślázowca pensylwańskiego również wzrastał w kolejnych latach, ale był znacznie niższy niż słonecznika wierzbolistnego. Topinambur charakteryzował się odwrotną zależnością plonowania i dawał najwyższy plon w pierwszym roku. Efektywność agronomiczna i efektywność odzysku (pobrania) zastosowanego N była najwyższa dla topinamburu, a najniższa dla miskanta olbrzymiego. Można stwierdzić, że w początkowych latach uprawy, z punktu widzenia plonowania i efektywności wykorzystania azotu, nawożenie WRP było częściowo uzasadnione, natomiast dla miskanta olbrzymiego nie było ono uzasadnione (**A27**).

B). Badania w zakresie oceny właściwości biomasy WRP jako surowca energetycznego (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuły **A38, A40).**

W ramach tych badań analizowano właściwości termofizyczne i skład elementarny 15 genotypów biomasy wierzby z dwóch różnych plantacji zlokalizowanych w północnej Polsce, zbieranych w dwóch kolejnych trzyletnich rotacjach (**A38**). Różnice w wilgotności biomasy, zawartości popiołu i jej wartości opałowej były w głównej mierze determinowane przez genotyp, a więc czynniki genetyczne. Natomiast zawartość węgla, azotu, siarki i wodoru były determinowane przez lokalizację (czynniki

środowiskowe), ale również przez genotyp i współdziałanie tych czynników. Średnie wartości badanych cech biomasy wierzby, niezależnie od lokalizacji, genotypu i rotacji zbioru wynosiły: wilgotność 48,9%, popiół 1,26% s.m., węgiel związany 19,4% s.m., części lotne 79,4% s.m., ciepło spalania 19,53 MJ kg⁻¹ s.m., wartość opałowa 8,20 MJ kg⁻¹, węgiel 52,90% s.m., wodór 6,23% s.m., siarka 0,032% s.m., azot 0,42% s.m. Badania te wykazały, że dobór genotypu wierzby jest ważny z punktu widzenia jakości biomasy jako surowca energetycznego. Jednakże lokalizacja plantacji jak również kolejne rotacje zbioru mogą istotnie wpływać na skład elementarny biomasy.

W innych badaniach z tego zakresu analizowano właściwości termofizyczne i skład chemiczny 19 rodzajów biomasy WRP poddanej wcześniej dwóm rodzajom ekstrakcji nadkrytycznym dwutlenkiem węgla (scCO₂) w porównaniu do biomasy wyjściowej, przed ekstrakcją (A40). Biomasa po ekstrakcji czystym scCO₂ i scCO₂/H₂O (z udziałem wody jako współrozpuszczalnika) zawierała mniej popiołu (o 4,9 i 11,4%; procenty względne), węgla (o 3,1 i 7,8%), wodoru (o 5,9 i 9,0%), azotu (o 4,4 i 7,0%), siarki (o 3,4 i 4,7%), ligniny (o 6,0 i 1,0%), hemiceluloz (o 17%) oraz więcej chloru (o 4,6 i 15,0%) w porównaniu do biomasy przed ekstrakcją. Ponadto biomasa po ekstrakcji czystym scCO₂ zawierała więcej celulozy oraz cechowała się niższą wilgotnością i wyższymi wartościami ciepła spalania i wartości opałowej. Natomiast biomasa po ekstrakcji scCO₂/H₂O zawierała więcej substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie. Generalnie biomasa w postaci kory czterech gatunków szybko rosnących drzew i krzewów charakteryzowała się wysokimi zawartościami azotu, siarki, substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie, pozostałych substancji rozpuszczalnych i jednocześnie niską zawartością celulozy (26–28% s.m.). Z kolei drewno wszystkich gatunków szybko rosnących drzew i krzewów wyróżniało się wysoką zawartością celulozy (51–56% s.m.). Natomiast wszystkie gatunki bylin i traw zawierały więcej chloru, hemiceluloz oraz generalnie mniej ligniny w porównaniu do biomasy szybko rosnących drzew i krzewów.

Badania zrealizowano w ramach projektu BIOMagic, w którym habilitant był wykonawcą (załącznik nr 4, pkt. II.9, projekt nr 5).

C). Badania w zakresie zawartości substancji bioaktywnych w biomasie szybko rosnących drzew i krzewów w zależności od rotacji zbioru roślin (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuły A34, A46).

Przeprowadzone badania (A46) wykazały, że różnorodność gatunków, genotypów i odmian szybko rosnących drzew i krzewów z jednej strony jest dużym atutem, a z drugiej strony wymaga dalszych wielokierunkowych badań w celu wyłonienia tych najbardziej predysponowanych do konkretnych zastosowań, w tym jako źródło konkretnych substancji bioaktywnych. Zmienność genetyczna istotnie wpływała na jakościowy oraz ilościowy skład substancji biologicznie czynnych zawartych w korze badanych genotypów, natomiast cykl pozyskania biomasy determinował ilościową zawartość poszczególnych związków bioaktywnych. Wydłużenie cyklu pozyskania biomasy z jednorocznego do czteroletniego spowodowało zmniejszenie średniej zawartości analizowanych substancji. Największym sumarycznym stężeniem oznaczonych substancji biologicznie czynnych

(salicyny, salikortyny, salirepozydu, kwasu salicylowego, kwercyliny, kemferolu) charakteryzowała się kora topoli *P. balsamifera* UWM 2. Natomiast suma potencjalnego plonu oznaczonych związków bioaktywnych, która była wypadkową stężenia związków bioaktywnych oraz plonu suchej kory, była istotnie zróżnicowana, zarówno pod względem zmienności genetycznej szybkorosnących drzew i krzewów, jak również w zależności od cyklu zbioru biomasy. Najwyższą wartość tego wskaźnika ($325,83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) uzyskano dla genotypu topoli *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa* Hybryda 275 w jednorocznym cyklu zbioru. Z kolei największym potencjalnym średnim plonem, z jednorocznego i czteroletniego cyklu zbioru ($295,23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) oznaczonych substancji biologicznie czynnych charakteryzował się genotyp UWM 2 z gatunku *P. balsamifera*. Dlatego też należy stwierdzić, że spośród badanych 14 genotypów SRWC to właśnie genotypy topoli, a szczególnie *P. balsamifera* UWM 2 i UWM 3 oraz *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa* Hybryda 275 okazały się najbardziej predysponowane do pozyskiwania substancji biologicznie czynnych i dalszego wytwarzania bioproduktów, o najbardziej korzystnym składzie naturalnych związków fenolowych. Warto podkreślić, że w tym eksperymencie z praktycznego punktu widzenia najlepszym okazał mieszaniec topoli *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa* Hybryda 275 zbierany w cyklu jednorocznym, ponieważ jego kora charakteryzowała się bogatym składem substancji bioaktywnych, a jej plon był wysoki, co umożliwiło uzyskanie największego potencjalnego plonu związków bioaktywnych.

Biomasa topoli (*Populus* spp.), wierzby (*Salix* spp.) i robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia*) może być pozyskiwana z naturalnych siedlisk, jak również z celowo zakładanych plantacji w systemie krótkiej rotacji zbioru. Rośliny te, zaliczane są do tych, które nie konkurują z produkcją żywności i są wykorzystywane do produkcji szerokiej gamy bioproduktów. W pracy (A34) dokonano przeglądu i syntezy zagadnień związanych z wykorzystaniem różnorodnych metod analitycznych i ekstrakcyjnych w oznaczaniu ważnych i cennych związków bioaktywnych o znaczeniu praktycznym. Najważniejszymi związkami bioaktywnymi biomasy tych WRP, są związki fenolowe, a zwłaszcza glikozydy fenolowe (w korze i liściach wierzby i topoli), jak również lignany (w korze wierzby), stilbeny (w drewnie robinii) i flawonoidy (w topoli, wierzbie, robinii). Konkludując, stwierdzono, że topola, wierzba i robinia akacjowa mogą być obiecującymi kandydatami jako źródło związków bioaktywnych na potrzeby opracowania nowych bioproduktów do wielokierunkowego wykorzystania.

Badania częściowo realizowano w ramach projektu BIOmagic, w którym habilitant był wykonawcą (załącznik nr 4, pkt. II.9, projekt nr 5).

D). Badania oceny cyklu życia produkcji biomasy (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuły A29, A32, A36).

W ramach tych badań oceniono wpływ na środowisko produkcji biomasy ślazu pensylwańskiego nawożonego pofermentami pozyskanymi z małej biogazowni rolniczej: świeżym (WD), suszonym (DD) i toryfikowanym (TD), oraz nawożonego nawozami mineralnymi (MF) w porównaniu do nienawożonego (C) (A29). Najkorzystniejszy wpływ w kategorii wpływu zmiany klimatu zaobserwowano w przypadku zagospodarowania wysuszonego i toryfikowanego pofermentu (emisja

gazów cieplarnianych GHG od -24,7 do 60,2 kg CO₂eq Mg⁻¹ s.m.). Najbardziej niekorzystny wpływ na toksyczność dla ludzi zaobserwowano, gdy TD zastosowano przy obu dawkach nawożenia. Większa emisja pyłu zawieszonego we wszystkich wariantach uprawy w porównaniu do obiektu C wynikała z produkcji nawozów i stosowania maszyn. Najmniejszy wpływ na zakwaszenie gleb miał wariant MF 85, a największy TD 170, co wynikało głównie z wysokiej emisji polowej. Stosowanie pofermentów i nawozów mineralnych skutkowało zwiększonym wpływem na eutrofizację wód słodkich (od 30 do 56 krotnie). Największy wpływ na ekotoksyczność lądową miała toryfikacja pofermentu. Największy wpływ na wyczerpywanie się zasobów kopalnych stwierdzono dla MF 170. Kategorią wpływu o najwyższym znormalizowanym wyniku była eutrofizacja wód słodkich. Produkcja ślazuwca pensylwańskiego przeznaczonego na bioprodukty spełnia warunek niskiej emisji GHG.

Ponadto, celem innych badań było określenie wpływu na środowisko produkcji topoli uprawianej na ubogich glebach mineralnych nawożonych nawozami mineralnymi (F), ligniną (L) i nawozami mineralnymi z dodatkiem ligniny (LF) oraz nienawożonych (C) z wykorzystaniem oceny cyklu życia (A32). Granice systemu obejmowały produkcję i stosowanie nawozów, prace rolnicze oraz emisje polowe związane z uprawą topoli (od kołyski do bramy farmy). Ujemną emisję GHG zaobserwowano w wariantach: L (-37,0 kg Mg⁻¹ s.m. CO₂eq.) i LF (-20,6 kg Mg⁻¹ s.m. CO₂eq.). Emisja w obiekcie kontrolnym wyniosła 25,2 kg Mg⁻¹ s.m. CO₂eq. We wszystkich wariantach uprawy, z wyjątkiem obiektu kontrolnego, stwierdzono wysoką znormalizowaną wartość parametru w kategorii ocena eutrofizacji wód słodkich, a w obiektach L i LF w kategoriach: ekotoksyczność słodkowodna i toksyczność dla człowieka. Stwierdzono niski wpływ uprawy topoli na wyczerpywanie się zasobów kopalnych i ekotoksyczność lądową. Niski znormalizowany wynik obliczono również dla zmiany klimatu. Przeprowadzone analizy wykazały, że lignina może być rekomendowana jako optymalna metoda nawożenia. Mniej korzystne dla środowiska jest stosowanie wyłącznie nawozów mineralnych. Z kolei, wariant LF nie jest zalecany ze względu na duży wpływ na eutrofizację wód słodkich, zakwaszenie łądów, toksyczność dla ludzi, ekotoksyczność słodkowodną oraz wyczerpywanie się zasobów kopalnych.

Celem kolejnych badań, w powyższym zakresie, było określenie wpływu na środowisko produkcji biomasy z miskanta olbrzymiego uprawianego na glebie piaszczystej, nawożonej pofermentem z biogazowni rolniczej i nawożonej nawozami mineralnymi w porównaniu z wariantem bez nawożenia (A36). Stwierdzono, że zastosowanie różnych form nawożenia do produkcji biomasy miskanta wpłynęło mniej korzystnie na środowisko we wszystkich analizowanych kategoriach wpływu niż uprawa bez nawożenia. Najślabzymi ogniwami w uprawie miskanta nienawożonego było wykorzystanie paliw do maszyn rolniczych oraz zastosowanie herbicydów przedwzrostowych. W wariantach uprawy miskanta z nawożeniem, najmniej korzystnymi elementami łańcucha produkcji była produkcja nawozów oraz ich zastosowanie.

Badania częściowo realizowano w ramach projektu BIOmagic (załącznik nr 4, pkt. II.9, **projekt nr 5**).

E). Badania w zakresie oceny efektywności energetycznej produkcji biomasy WRP (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuły A26, A33).

Celem badań była analiza nakładów i efektywności energetycznej produkcji biomasy czterech gatunków WRP z grupy bylin i traw: topinamburu, ślazuwca pensylwańskiego, słonecznika wierzbolistnego i miskanta olbrzymiego (A26). Uprawy nawożono trzema rodzajami pofermentu z biogazowni (poferment mokry, poferment suchy, poferment torfikowany) oraz nawozami mineralnymi w dwóch dawkach (85 i 170 kg ha⁻¹ N). Analizy do badań oparto na średnich wartościach z trzech lat eksperymentu (2013–2015) prowadzonego w północno-wschodniej Polsce. Całkowite nakłady energetyczne wahały się w szerokim zakresie (2832–59080 MJ ha⁻¹), w zależności od gatunku, form i poziomu nawożenia. Najmniejsze nakłady zaobserwowano w obiektach kontrolnych. Największe nakłady odnotowano tam, gdzie jako nawozy zastosowano torfikowany i suchy poferment, co było konsekwencją dużej energochłonności ich produkcji. Słonecznik wierzbolisty dał najwyższy zysk energii ze wszystkich opcji nawożenia i na poletku kontrolnym w porównaniu z pozostałymi trzema gatunkami WRP. Najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej (19,1) w doświadczeniu uzyskano dla słonecznika wierzbolistego w wariantcie bez nawożenia. Natomiast wartości tego wskaźnika dla pozostałych gatunków WRP w obiektach kontrolnych były od 5 do 52% niższe.

W ramach innych badań, w tym zakresie (A33), określono: (i) nakłady energetyczne, (ii) wartość energetyczną plonu oraz (iii) wskaźniki efektywności energetycznej produkcji biomasy lignocelulozowej 26 genotypów WRP należących do trzech grup roślin (15 szybko rosnących drzew i krzewów, 6 bylin i 5 traw) pozyskiwanych w okresie sześciu kolejnych jednorocznych rotacjach zbioru w warunkach środowiskowych północno-wschodniej Polski. Istotnie najwyższą wartość energetyczną plonu w całym doświadczeniu (2012–2017) uzyskano z wierzby odmiany Ekotur (1857 GJ ha⁻¹). Wśród 26 genotypów WRP w pierwszej dziesiątce pod względem wartości energetycznej plonu i zysku energii w sześciu kolejnych rotacjach znalazło się pięć genotypów wierzby (odmiany Ekotur, Start, Żubr, Turbo oraz klon UWM 095), trzy genotypy traw: miskant cukrowy, miskant chiński, spatina preriowa i dwie byliny: ślazuwiec pensylwański i słonecznik wierzbolisty. Istotnie najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej (22,3) uzyskano dla produkcji miskanta cukrowego. Kolejne trzy miejsca zajęły wierzby, odmiany Ekotur, Żubr i Start, dla których wskaźnik ten był o 8–10% niższy niż dla miskanta cukrowego.

F). Badania w zakresie oceny wykorzystania biopaliw stałych i paliw kopalnych do wytwarzania energii cieplnej i powiązanej z tym emisji gazów cieplarnianych (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuły A20, A21, A24)

W badaniach analizowano zużycie energii potrzebnej do ogrzania domu jednorodzinnego oraz koszt wytworzenia ciepła ze spalania brykietu drzewnego w porównaniu z innymi paliwami z biomasy i kopalnymi (A24). Średnioroczne zużycie brykietu w ciągu trzech sezonów grzewczych wynosiło 6,93–7,42 Mg rok⁻¹, a roczne zużycie energii z paliwa 121–130 GJ rok⁻¹. Roczny koszt produkcji ciepła z brykietów dla domu wahał się od 772 do 986 € w ciągu trzech badanych sezonów. Koszt produkcji

energii z tego paliwa był znacznie niższy w porównaniu z olejem opałowym, gazem ziemnym, węglem i peletem drzewnym, ale wyższy w porównaniu ze zrębkami wierzbowymi. W badaniach stwierdzono, że perspektywicznym i obiecującym surowcem do produkcji ciepła dla domów jednorodzinnych był brykiet, który jest produkowany w Polsce w brykietciarkach tłokowych i który może być wykorzystany jako paliwo w automatycznych kotłach. Natomiast wysoka cena nowych automatycznych kotłów na biomasę była główną barierą w modernizacji kotłowni.

Do obliczenia emisji gazów cieplarnianych ze spalania analizowanych paliw wykorzystano roczne zużycie ciepła (A20). Stwierdzono, że wykorzystanie brykietu drzewnego do ogrzewania domu jednorodzinnego zmniejszyło emisję gazów cieplarnianych z 17,4 do 34,3 Mg CO₂eq. w porównaniu z paliwami kopalnymi. Dzięki temu brykiet może z powodzeniem konkurować z paliwami kopalnymi na rynku ogrzewania mieszkań i może być polecany jako efektywne kosztowo źródło energii o niewielkim wpływie na środowisko.

W innych badaniach z tego zakresu oceniano efektywność wytwarzania energii z zrębków wierzbowych z wykorzystaniem różnych technologii konwersji oraz analizowano potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych w zależności od odległości transportu biomasy do zakładu konwersji (A21). Potencjalna wyprodukowana ilość energii elektrycznej wahała się od 59,2 do 136,8 GJ ha⁻¹ przy wykorzystaniu odpowiednio spalania i współspalania. Całkowita energia w produkcji ciepła i energii elektrycznej (CHP) wahała się od 295,9 do 321,8 GJ ha⁻¹ odpowiednio dla zgazowania i współspalania. Należy podkreślić, że najwięcej energii wyprodukowano przy spalaniu w kotłowni ciepłej. Całkowita emisja gazów cieplarnianych z produkcji i transportu zrębków wierzbowych na odległość 25 km wyniosła 73,0 kg CO₂eq Mg⁻¹ s.m. Zwiększenie odległości transportu do 50, 100 i 200 km spowodowało wzrost emisji gazów cieplarnianych odpowiednio o 6%, 17% i 39%. Największy potencjał redukcji emisji GHG (62,5 Mg CO₂eq ha⁻¹) uzyskano w kotłowni ciepłej o najkrótszej odległości transportowej. Wskaźnik ten był o 3–11% niższy, gdy energia była wytwarzana w układach kogeneracyjnych. Najmniejszy potencjał redukcji emisji GHG uzyskano w konwersji biomasy na energię elektryczną w procesie spalania.

G). Badania w zakresie oceny możliwości wykorzystania biomasy i bioenergii w Polsce na tle krajów regionu Morza Bałtyckiego (załącznik nr 4, pkt. II.4, artykuł A39).

Celem tych badań była ocena potencjału biomasy i scharakteryzowanie rozwoju technologii bioenergetycznych w dziewięciu krajach regionu Morza Bałtyckiego (Dania, Niemcy, Estonia, Finlandia, Łotwa, Litwa, Polska, Szwecja i Norwegia). Badania te potwierdziły hipotezę o dużym zróżnicowaniu zarówno potencjału biomasy, jak i technologii bioenergetycznych wśród krajów Regionu Morza Bałtyckiego. Niemcy przodowały wśród krajów BSR pod względem ilości wytwarzanej bioenergii w poszczególnych sektorach, tj. biomasy stałej, biogazu, odnawialnych odpadów komunalnych i biopaliw ciekłych oraz posiadały zdecydowanie największą liczbę biogazowni (92% wszystkich biogazowni) i doświadczenie w tym sektorze. Ponadto charakteryzowały się najwyższymi obrotami i największą liczbą pracowników w sektorze bioenergii. Inne kraje regionu Morza Bałtyckiego

również miały znaczne aktywa w sektorze bioenergii. Dania zużywała zdecydowanie najwięcej peletów do wytwarzania energii. Estonia miała największy udział biomasy w całkowitej produkcji ciepła na cele mieszkalne. Finlandia miała wysoki odsetek całej populacji zatrudnionej na rynkach bioenergii. Łotwa miała najwyższy udział ogrzewania i chłodzenia w końcowym zużyciu energii. Szwecja i Litwa miały najwyższe wskaźniki całkowitej biomasy w całkowitej produkcji ciepła sieciowego. Polska zajmowała drugie miejsce pod względem liczby biogazowni, mocy zainstalowanej biopaliw oraz produkcji pierwotnej i liczby wytwórni peletu. Norwegia miała największy udział odpadów odnawialnych w produkcji energii elektrycznej brutto z biomasy. Stwierdzono również, że przykład Europy Północnej jest dobrą drogą do naśladowania przez inne regiony świata i może pomóc w usprawnieniu ich wysiłków na rzecz rozwoju bioenergii. Badania były realizowane w ramach międzynarodowego projektu BalticBiomass4Value (załącznik nr 4, pkt. II.9, **projekt nr 6**).

Oprócz zagadnień związanych z biogospodarką habilitant brał udział w innych badaniach w zakresie chemii atmosfery, wpływu zanieczyszczeń powietrza na rośliny, emisji gazów oraz toksykologii środowiska.

H). W pierwszych latach po uzyskaniu stopnia doktora, habilitant zajmował się wybranymi aspektami **chemii atmosfery**, tj. występowaniem i przemianami w powietrzu atmosferycznym gazów o działaniu toksycznym dla roślin oraz ludzi (ozonu O_3 , tlenków azotu NO_x , ditlenku siarki SO_2). W pracach **A17**, **A19** (załącznik nr 4, pkt. II.4) badano dobowe i sezonowe zmiany stałej szybkości fotolizy NO_2 (J_{NO_2}), stałej szybkości utleniania NO (k_3) oraz stosunku cząsteczkowego NO_2/NO wyznaczonego doświadczalnie i obliczonego dla stanu fotostacjonarnego powietrza atmosferycznego strefy podmiejskiej Olsztyna. W konkluzji wskazano na znaczenie utleniania NO do NO_2 z udziałem lotnych związków organicznych (LZO) i/lub tlenku węgla, co ma ogromne znaczenie w procesach fotochemicznych powodujących wzrost stężenia fitotoksycznego ozonu w troposferze. W innych pracach (**A13** oraz załącznik nr 4, pkt. II.2 **RM4**) badano wpływ występowania lokalnych źródeł emisji oraz warunków meteorologicznych na poziom SO_2 i NO_x w atmosferze. Wykorzystując metodologię analizy napływu zanieczyszczeń udowodniono, że zimą NO_x pochodziły z pobliskiej arterii komunikacyjnej i osiedla domów jednorodzinnych, natomiast latem prawie w całości ze źródeł zanieczyszczeń komunikacyjnych, a SO_2 w okresie zimowym pochodził z osiedla domów jednorodzinnych (źródeł spalania węgla do celów grzewczych).

Rozkład ozonu (O_3) w troposferze jest bardzo ważnym procesem, który zapobiega nadmiernemu gromadzeniu się tego toksycznego gazu w powietrzu. Jest to szczególnie istotne w ciepłe, letnie dni charakteryzujące się dużym zagrożeniem smogiem fotochemicznym, którego znaczenie dla zdrowia człowieka i produktywności roślin uprawnych jest od wielu lat znane. Habilitant podjął tę problematykę w pracy **A30**. W doświadczeniu stężenia tlenków azotu (NO_x) mierzono w sposób ciągły 24h/dobę przez 24 tygodnie (latem i zimą) metodą chemiluminescencyjną, a stężenia O_3 określono metodą fotometryczną UV. Uzyskane wyniki sugerują, że na tempo rozkładu troposferycznego O_3 w godzinach

nocnych ($-\Delta O_3$) największy wpływ miały NO_x , wysoka temperatura i wilgotność powietrza (korelacja dodatnia) oraz prędkość wiatru (korelacja ujemna). Wyniki te wskazują, że O_3 reagował również ze składnikami powietrza innymi niż NO i NO_2 . Analiza wahań sezonowych i dobowych $-\Delta O_3$ wykazała, że wartości $-\Delta O_3$ były najwyższe latem i tuż po zachodzie słońca w cyklu dobowym.

D). Kolejną problematyką podejmowaną przez habilitanta były badania **wpływu zanieczyszczeń powietrza na rośliny**. W pracy **A12** przedstawiono wyniki badań oddziaływania SO_2 i siarczanów(IV) na dwa taksony porostów nadrzewnych oraz igły sosny zwyczajnej i świerka pospolitego. Stwierdzono m.in., że (i) porosty były wrażliwszymi bio wskaźnikami zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki niż drzewa iglaste; (ii) stopień feofitynizacji chlorofilu (PQ) i zawartość chlorofilu *a* i *b* w plechach malały wykładniczo wraz ze wzrostem stężenia SO_2 ; (iii) PQ był najczulszym wskaźnikiem reakcji porostów na zanieczyszczenia powietrza; (iv) uszkodzenia igieł sosny zwyczajnej i świerka pospolitego pod wpływem SO_2 charakteryzowały się strefowymi nekrozami wyraźnie oddzielonymi od tkanek zdrowych. W późniejszych badaniach **A28** wykazano przydatność pomiarów asymetrii fluktuacyjnej igieł sosny zwyczajnej do oceny antropopresji na drzewostany iglaste ze szczególnym uwzględnieniem zanieczyszczeń powietrza pochodzenia przemysłowego (rafineria) i komunikacyjnego, a także składowisk odpadów. Problematykę wpływu zanieczyszczeń powietrza na rośliny drzewiaste omówiono również w pracy przeglądowej **A22**. Natomiast w ramach projektu badawczego MNiSW/NCN (załącznik nr 4, pkt. II.9, **projekt nr 3**), którego habilitant był kierownikiem, opracowano koncepcję budowy biosensora i przetestowano możliwość wykorzystania słodkowodnych glonów w warstwie receptorowej biosensora ozonu i innych gazów fitotoksycznych. Jako sygnał wyjściowy reakcji glonów *Selenastrum capricornutum* na gazy fitotoksyczne (badano: ozon, SO_2 , NO_2 , formaldehyd) wykorzystano parametry fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI) żywych komórek, które są szybką, fizyczną odpowiedzią na zaburzenia fotosyntezy możliwą do nieinwazyjnego pomiaru (załącznik nr 4, pkt. II.2 **RM5**).

J). Ocena **emisji zanieczyszczeń powietrza oraz gazów cieplarnianych** była przedmiotem kilku publikacji. W badaniach zaprezentowanych w pracach **A15**, **A16** wykonano analizę emisji rtęci do powietrza w poszczególnych państwach Unii Europejskiej w przeliczeniu na powierzchnię kraju, liczbę mieszkańców, produkt krajowy brutto, ilość wyprodukowanej energii brutto oraz ilość zużytych paliw, w tym węgla. W rankingu całkowitej antropogenicznej emisji rtęci do atmosfery Polska zajmowała drugie miejsce w Unii Europejskiej. Jednak przeliczając tę emisję na inne wskaźniki okazało się, że Polska zajmuje już od 6. do 12. miejsca w UE. Średnie wskaźniki emisji Hg w 2004 r. wynosiły dla Polski: 63,3 kg/tys. km² i 519,2 kg/mln mieszkańców, a średnia dla Unii Europejskiej wynosiła odpowiednio: 26,1 i 343,5. W dwóch kolejnych publikacjach **A11**, **A18** przedstawiono wyniki eksperymentalne dotyczące emisji CO_2 z nadkładu kopalnianego oraz gleby z nieużytku, przed i po nawożeniu osadami ściekowymi. Stwierdzono, że procesy rozkładu substancji organicznej w utworach

glebowych wpływały na ilość wydzielanego CO₂. Analiza wariancji wykazała, że emisja CO₂ była istotna i w największym stopniu uzależniona od utworu glebowego, dodatku osadu oraz temperatury.

K). Pozostałe osiągnięcia naukowe dotyczyły również wybranych aspektów **rekultywacji gleb i gruntów**. W pracy **A31** omówiono zagadnienia wykorzystania drzew do rekultywacji gleb zanieczyszczonych olejem napędowym. Wyniki badań wykazały, że sosna zwyczajna lepiej przystosowuje się do długotrwałego zanieczyszczenia gleby olejem napędowym niż buk pospolity. W tym samym doświadczeniu oceniono aktywność respiracyjną zanieczyszczonych gleb (artykuł **A25**). Zwiększanie dawki substancji ropopochodnej powodowały spowolnienie oddychania gleb (uwalniania CO₂), na których rosła sosna zwyczajna. Z kolei, w pracy **A23** przedstawiono wyniki doświadczeń dotyczących wpływu osadów ściekowych na poziom węgla organicznego w glebach rekultywowanych. Udowodniono, że ustabilizowane osady ściekowe są dobrym materiałem rekultywacyjnym, a dodatkowe nawożenie NPK również powodowało zwiększenie ilości węgla w rekultywowanych glebach, ze względu na intensywniejszy wzrost korzeni traw użytych w doświadczeniu (*Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L.).

L). Zagadnienia badawcze z zakresu **toksykologii środowiska wodnego** obejmowały badania wpływu barwników syntetycznych (**A35**) i antybiotyków weterynaryjnych (artykuł **A47**) na roślinę bioindykacyjną – rzęsę wodną (*Lemna minor* L.), a także herbicydów (glifosatu, linuronu, atrazyny) na respirację i fotosyntezę fitoplanktonu (**A10**). Habilitant prowadził również badania modelowe w zakresie analizy zależności struktura-aktywność (QSAR) insektycydów wobec organizmów wodnych (**A14**). Oprócz tego na konferencji **PK17** (załącznik nr 4, pkt. II. 7.2) zaprezentowano wstępne wyniki badań wpływu substancji ropopochodnych oraz pyłu zawieszonego PM10 na organizmy bioindykacyjne, odpowiednio na małżoraczki *Heterocypris incongruens* (test Ostracodtoxkit) oraz bakterie luminescencyjne *Vibrio fischeri* (system pomiarowy Microtox).

W tabelach 1 i 2 przedstawiono szczegółowe dane liczbowe dorobku naukowego z całego okresu pracy naukowej, w tym prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora (z okresu studiów doktoranckich) oraz po uzyskaniu stopnia doktora.

Tabela 1. Szczegółowe dane naukometryczne publikacji z całego okresu pracy naukowej

Dorobek		Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora		Ogółem	
		liczba	IF ^a	liczba	IF ^a	liczba	IF ^a
Artykuły naukowe w czasopismach z IF umieszczonych w JCR	wchodzące w skład cyklu artykułów			5	23.972	5	23.972
	pozostałe			20	83.499	20	83.499
Artykuły naukowe w pozostałych czasopismach naukowych		6		16		22	
Ogółem liczba publikacji w czasopismach		6		41		47	
Rozdziały monografii		3		4		7	
Sumaryczny IF zgodnie z rokiem opublikowania ^a		0		107.471		107.471	
Sumaryczna liczba punktów MNiSW, MEiN ^b		18		2937		2955	
Sumaryczna liczba cytowań według bazy	Web of Science	0		361		361	
	Scopus	0		393		393	
Sumaryczna liczba cytowań bez autocytowań według bazy	Web of Science	0		332		332	
	Scopus	0		368		368	
Indeks Hirscha według bazy	Web of Science			13			
	Scopus			15			

^a współczynnik wpływu (IF) według bazy Journal Citation Reports zgodnie z rokiem opublikowania, za wyjątkiem artykułów opublikowanych w 2022, którym przypisano najnowszy IF, tzn. z roku 2021;

do sumy IF **nie wliczono** artykułów **A17** (publikacji w Polish Journal of Environmental Studies z 2007 r., która została wydana w zeszycie specjalnym pokonferencyjnym) oraz **A47** (publikacja z 2023 r. w czasopiśmie International Journal of Environmental Research and Public Health, którego redakcja 8 dni po opublikowaniu A47, poinformowała o „utracie” oceny czasopisma przez Clarivate);

^b punktacja według list czasopism ministra właściwego ds. nauki zgodnie z rokiem opublikowania.

Tabela 2. Czasopisma naukowe, w których opublikowano artykuły wymienione w punkcie II.4 załącznika nr 4.

Czasopismo naukowe	Liczba artykułów	Dane naukometyczne (zgodnie z rokiem opublikowania)	
		Sumaryczny IF ^a	Suma punktów MNiSW/MEiN ^b
Industrial Crops and Products	5	27.44	840
Renewable and Sustainable Energy Reviews	1	14.982	200
Journal of Cleaner Production	2	13.641	180
Energy	2	12.115	245
Energies	4	12.016	560
Chemosphere	1	7.086	100
Energy Conversion and Management	1	5.589	45
International Journal of Environmental Research and Public Health	1	(4.614) ^a	140
Environmental Science and Pollution Research	1	3.056	70
Wood Science and Technology	1	2.506	200
Energy and Buildings	1	2.465	40
Trees–Structure and Function	1	2.125	100
Water Air & Soil Pollution	1	1.774	25
Polish Journal of Environmental Studies	2+1 ^a	1.753 ^a	35
Journal of Elementology	1	0.923	70
Rośliny Oleiste – Oilseed Crops	6		18
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	4		12
Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura	2		6
Biuletyn Naukowy	1		3
Ecological Chemistry and Engineering A	1		6
Electronic Journal of Polish Agricultural Universities	1		12
Inżynieria Ekologiczna	1		9
Leśne Prace Badawcze	1		13
Oceanological and Hydrobiological Studies	1		4
Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów	1		2
Polish Journal of Natural Science	1		10
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska	1		10
RAZEM	47	107,471	2955

Objaśnienia ^{a b} – jak w tabeli 1.

4.5. Literatura cytowana w punkcie 4

1. Afzal, M.T., Bedane, A.H., Sokhansanj, S., Mahmood, W., 2010. Storage of comminuted and uncomminuted forest biomass and its effect on fuel quality. *Bioresources* 5, 55–69.
2. Amaducci, S., Faccioto, G., Bergante, S., Perego, A., Serra, P., Ferrarini, A., Chimento, C., 2017. Biomass production and energy balance of herbaceous and woody crops on marginal soils in the Po Valley. *GCB Bioenergy* 9, 31–45. DOI: 10.1111/gcbb.12341.
3. Attard, T.M., Arshadi, M., Nilsson, C., Budarin, V.L., Valencia-Reyes, E., Clark, J.H., Hunt, A.J., 2016. Impact of supercritical extraction on solid fuel wood pellet properties and off-gassing during storage. *Green Chemistry* 18, 2682–2690. DOI: 10.1039/C5GC02479J.
4. Attard, T.M., Bukhanko, N., Eriksson, D., Arshadi, M., Geladi, P., Bergsten, U., Budarin, V.L., Clark, J.H., Hunt, A.J., 2018. Supercritical extraction of waxes and lipids from biomass: A valuable first step towards an integrated biorefinery. *Journal of Cleaner Production* 177, 684–698. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.155.
5. Baba, S.A., Malik, S.A., 2018. Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume. *Journal of Taibah University for Science* 9, 449–454. DOI: 10.1016/j.jtusci.2014.11.001.
6. Benetka, V., Vrátný, F., Šálková, I., 2007. Comparison of the productivity of *Populus nigra* L. with an interspecific hybrid in a short rotation coppice in marginal areas. *Biomass and Bioenergy* 31, 367–374. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.005.
7. Brereton, N.J.B., Berthod, N., Lafleur, B., Pedneault, K., Pitre, F.E., Labrecque, M., 2017. Extractable phenolic yield variation in five cultivars of mature short rotation coppice willow from four plantations in Quebec. *Industrial Crops and Products* 97, 525–535. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.12.049.
8. Ceotto, E., Castelli, F., Moschella, A., Diozzi, M., Di Candilo, M., 2015. Cattle Slurry Fertilization to Giant Reed (*Arundo donax* L.): Biomass Yield and Nitrogen Use Efficiency. *BioEnergy Research* 8, 1252–1262. DOI: 10.1007/s12155-015-9577-2.
9. Christersson, L., 2010. Wood production potential in poplar plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 34, 1289–1299. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.03.021.
10. Chylek E.K. 2016. Nowe strategie Komisji Europejskiej dotyczące biogospodarki i gospodarki wewnętrznej o obiegu zamkniętym. *Polish Journal of Agronomy* 25, 3–12.
11. Devappa, R.K., Rakshit, S.K., Dekker, R.F.H., 2015. Forest biorefinery: Potential of poplar phytochemicals as value-added co-products. *Biotechnology Advances* 33, 681–716. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.02.012.
12. Eisenbies, M.H., Volk, T.A., Amidon, T.E., Shi, S., 2019. Influence of blending and hot water extraction on the quality of wood pellets. *Fuel* 241, 1058–1067. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.12.120.
13. Fortier, J., Gagnon, D., Truax, B., Lambert, F., 2010. Biomass and volume yield after 6 years in multiclonal hybrid poplar riparian buffer strips. *Biomass and Bioenergy* 34, 1028–1040. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.02.011.
14. Gasol, C.M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Rieradevall, J., 2009. LCA of poplar bioenergy system compared with *Brassica carinata* energy crop and natural gas in regional scenario. *Biomass and Bioenergy* 33, 119–129. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.04.020.
15. Gehrig, M., Wöhler, M., Pelz, S., Steinbrink, J., Thorwarth, H., 2019. Kaolin as additive in wood pellet combustion with several mixtures of spruce and short-rotation-coppice willow and its influence on emissions and ashes. *Fuel* 235, 610–616. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.08.028.
16. Godin, B., Lamaudière, S., Agneessens, R., Schmit, T., Goffart, J.-P., Stilmant, D., Gerin, P.A., Delcarte, J., 2013. Chemical characteristics and biofuel potential of several vegetal biomasses grown under a wide range of environmental conditions. *Industrial Crops and Products* 48, 1–12. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.04.007.
17. Guidi, W., Tozzini, C., Bonari, E., 2009. Estimation of chemical traits in poplar short-rotation coppice at stand level. *Biomass and Bioenergy* 33, 1703–1709. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.09.004.
18. Heinonen, J., Junnila, S., 2014. Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland. *Energy and Buildings* 76, 295–303. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.02.079.
19. Jankowski, K.J., Dubis, B., Budzyński, W.S., Bórawski, P., Bułkowska, K., 2016. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. *Energy* 109, 277–286. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.087.
20. Jankowski, K.J., Dubis, B., Sokólski, M.M., Załuski, D., Bórawski, P., Szempliński, W., 2019. Biomass yield and energy balance of Virginia fanpetals in different production technologies in north-eastern Poland. *Energy* 185, 612–623. DOI: 10.1016/j.energy.2019.07.061.
21. Jeż, M., Wiczowski, W., Zielińska, D., Białobrzewski, I., Błaszczak, W., 2018. The impact of high pressure processing on the phenolic profile, hydrophilic antioxidant and reducing capacity of purée obtained from commercial tomato varieties. *Food Chemistry* 261, 201–209. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.04.060.
22. Kallis, K.X., Pellegrini Susini, G.A., Oakey, J.E., 2013. A comparison between *Miscanthus* and bioethanol waste pellets and their performance in a downdraft gasifier. *Applied Energy* 101, 333–340. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.01.037.
23. Kiselova, Y., Ivanova, D., Chervenkov, T., Gerova, D., Galunska, B., Yankova, T., 2006. Correlation between the in vitro antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Bulgarian herbs. *Phytotherapy Research* 20, 961–965. DOI: 10.1002/ptr.1985.
24. Köhler, A., Förster, N., Zander, M., Ulrichs, C., 2020. Compound-specific responses of phenolic metabolites in the bark of drought-stressed *Salix daphnoides* and *Salix purpurea*. *Plant Physiology and Biochemistry* 155, 311–320. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.07.004.
25. Komisja Europejska 2012. Komunikat komisji do parlamentu europejskiego, rady, europejskiego komitetu ekonomiczno-społecznego i komitetu regionów Innowacje w służbie zrównoważonego wzrostu: Biogospodarka dla

- Europy. Bruksela, dnia 13.2.2012 r. COM(2012) 60 final. On-line: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0060&from=EN>
26. Krzyżaniak, M., Stolarski, M.J., Niksa, D., Tworkowski, J., Szczukowski, S., 2016. Effect of storage methods on willow chips quality. *Biomass and Bioenergy* 92, 61–69. DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.06.007.
 27. Labrecque, M., Teodorescu, T.I., 2005. Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy* 29, 1–9. DOI: 10.1016/j.biombioe.2004.12.004.
 28. Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J., Ceulemans, R., 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy* 29, 10–21. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.02.005.
 29. Lavola, A., Maukonen, M., Julkunen-Tiitto, R., 2018. Variability in the composition of phenolic compounds in winter-dormant *Salix pyrolifolia* in relation to plant part and age. *Phytochemistry* 153, 102–110. DOI: 10.1016/j.phytochem.2018.05.021.
 30. Malm, A., Grzegorzczak, A., Biernasiuk, A., Baj, T., Rój, E., Tyśkiewicz, K., Dębczak, A., Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Olba-Zięty, E., 2021. Could Supercritical Extracts from the Aerial Parts of *Helianthus salicifolius* A. Dietr. and *Helianthus tuberosus* L. Be Regarded as Potential Raw Materials for Biocidal Purposes? *Agriculture* 11, 10. DOI: 10.3390/agriculture1101010.
 31. Manzone, M., Airoldi, G., Balsari, P., 2009. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 33, 1258–1264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.05.024.
 32. Manzone, M., Bergante, S., Faccioto, G., 2014. Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 60, 164–170. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.11.012.
 33. Manzone, M., Calvo, A., 2016. Energy and CO₂ analysis of poplar and maize crops for biomass production in north Italy. *Renewable Energy* 86, 675–681. DOI: 10.1016/j.renene.2015.08.047.
 34. Matyka, M., Radzikowski, P., 2020. Productivity and Biometric Characteristics of 11 Varieties of Willow Cultivated on Marginal Soil. *Agriculture* 10, 616. DOI: 10.3390/agriculture10120616.
 35. Monedero, E., Hernández, J., Collado, R., 2017. Combustion-Related Properties of Poplar, Willow and Black Locust to be used as Fuels in Power Plants. *Energies* 10, 997. DOI: 10.3390/en10070997.
 36. Monedero, E., Portero, H., Lapuerta, M., 2015. Pellet blends of poplar and pine sawdust: Effects of material composition, additive, moisture content and compression die on pellet quality. *Fuel Processing Technology* 132, 15–23. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.12.013.
 37. Nassi o Di Nasso, N., Guidi, W., Ragolini, G., Tozzini, C., Bonari, E., 2010. Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *GCB Bioenergy* 2, 89–97. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2010.01043.x.
 38. Noleto-Dias, C., Ward, J.L., Bellisai, A., Lomax, C., Beale, M.H., 2018. Salicin-7-sulfate: A new salicinoid from willow and implications for herbal medicine. *Fitoterapia* 127, 166–172. DOI: 10.1016/j.fitote.2018.02.009.
 39. Orsavová, J., Hlaváčová, I., Mlček, J., Snopek, L., Mišurcová, L., 2019. Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribes uva-crispa L.*) fruits. *Food Chemistry* 284, 323–333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.
 40. Ostolski, M., Adamczak, M., Brzozowski, B., Wiczkowski, W., 2021. Antioxidant Activity and Chemical Characteristics of Supercritical CO₂ and Water Extracts from Willow and Poplar. *Molecules (Basel, Switzerland)* 26(3), 545. DOI: 10.3390/molecules26030545.
 41. Paunonen, R., Julkunen-Tiitto, R., Tegelberg, R., Rousi, M., Heiska, S., 2009. Salicylate and biomass yield, and leaf phenolics of dark-leaved willow (*Salix myrsinifolia* Salisb.) clones under different cultivation methods after the second cultivation cycle. *Industrial Crops and Products* 29, 261–268. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.05.009.
 42. Pearson, C.H., Halvorson, A.D., Moench, R.D., Hammon, R.W., 2010. Production of hybrid poplar under short-term, intensive culture in Western Colorado. *Industrial Crops and Products* 31, 492–498. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.01.011.
 43. Pham, X.-H., Piriou, B., Salvador, S., Valette, J., van de Steene, L., 2018. Oxidative pyrolysis of pine wood, wheat straw and miscanthus pellets in a fixed bed. *Fuel Processing Technology* 178, 226–235. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.05.029.
 44. Sabatti, M., Fabbri, F., Harfouche, A., Beritognolo, I., Mareschi, L., Carlini, M., Paris, P., Scarascia-Mugnozza, G., 2014. Evaluation of biomass production potential and heating value of hybrid poplar genotypes in a short-rotation culture in Italy. *Industrial Crops and Products* 61, 62–73. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.06.043.
 45. Scordia, D., van den Berg, D., van Sleen, P., Alexopoulou, E., Cosentino, S.L., 2016. Are herbaceous perennial grasses suitable feedstock for thermochemical conversion pathways? *Industrial Crops and Products* 91, 350–357. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.07.019.
 46. Shahidi, F., Zhong, Y., 2015. Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods* 18, 757–781. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.047.
 47. Stolarski, M., Krzyżaniak, M., Rybczyńska, B., Peni, D., Bordiean, A., Lajszner, W., Graban, Ł., 2019. Thermophysical properties and elemental composition of agricultural and forest solid biofuels versus fossil fuels. *Journal of Elementology* 24(4), 1215–1228. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.1.1819.
 48. Stolarski, M., Krzyżaniak, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Grygutis, J., 2015b. Changes of the quality of willow biomass as renewable energy feedstock harvested with biobaler. *Journal of Elementology* 20(3), 717–730. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.3.769.
 49. Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Załuski, D., Bieniek, A., Gołaszewski, J., 2015a. Effect of Increased Soil Fertility on the Yield and Energy Value of Short-Rotation Woody Crops. *BioEnergy Research* 8, 1136–1147. DOI: 10.1007/s12155-014-9567-9.

50. Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Załuski, D., Niksa, D., 2018b. Evaluation of biomass quality of selected woody species depending on the soil enrichment practice. *International Agrophysics* 32, 111–121. DOI: 10.1515/intag-2016-0097.
51. Stolarski, M.J., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., 2013a. Cost of heat energy generation from willow biomass. *Renewable Energy* 59, 100–104. DOI: 10.1016/j.renene.2013.03.025.
52. Stolarski, M.J., Śnieg, M., Krzyżaniak, M., Tworkowski, J., Szczukowski, S., Graban, Ł., Lajszner, W., 2018a. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Biomass properties versus 26 genotypes and harvest time. *Industrial Crops and Products* 119, 22–32. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.03.064.
53. Stolarski, M.J., 2021. Industrial and Bioenergy Crops for Bioeconomy Development. *Agriculture* 11, 852. DOI: 10.3390/agriculture11090852.
54. Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Warmiński, K., Niksa, D., 2016. Energy consumption and costs of heating a detached house with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Conversion and Management* 121, 71–83. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.05.031.
55. Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Warmiński, K., Śnieg, M., 2013b. Energy, economic and environmental assessment of heating a family house with biomass. *Energy and Buildings* 66, 395–404. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.07.050.
56. Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2017. *Możliwości produkcji i wykorzystania biomasy roślin wieloletnich w aspekcie biogospodarki. VII Konferencja Naukowa PTA „Bioróżnorodność - nowe wyzwania dla rolnictwa w Polsce”, Rzeszów, 11-13.09.2017r.*
57. Stolarski, M.J., Warmiński, K., Krzyżaniak, M., Tyśkiewicz, K., Olba-Zięty, E., Graban, Ł., Lajszner, W., Załuski, D., Wiejak, R., Kamiński, P., Rój, E., 2020. How does extraction of biologically active substances with supercritical carbon dioxide affect lignocellulosic biomass properties? *Wood Science and Technology* 54, 519–546. DOI: 10.1007/s00226-020-01182-5.
58. Tyśkiewicz, K., Konkol, M., Kowalski, R., Rój, E., Warmiński, K., Krzyżaniak, M., Gil, Ł., Stolarski, M.J., 2019. Characterization of bioactive compounds in the biomass of black locust, poplar and willow. *Trees* 33, 1235–1263. DOI: 10.1007/s00468-019-01837-2.
59. Vande Walle, I., van Camp, N., van de Castele, L., Verheyen, K., Lemeur, R., 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO₂ emission reduction potential. *Biomass and Bioenergy* 31, 276–283. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.002.
60. Wahiström, M.H., Hårsman, B., 2015. Residential energy consumption and conservation. *Energy and Buildings* 102, 58–66. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.05.008.
61. Warmiński, K., Stolarski, M.J., Gil, Ł., Krzyżaniak, M., 2021. Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock. *Industrial Crops and Products* 171, 113976. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113976.
62. Zielinska, M., Zielinska, D., Markowski, M., 2018. The Effect of Microwave-Vacuum Pretreatment on the Drying Kinetics, Color and the Content of Bioactive Compounds in Osmo-Microwave-Vacuum Dried Cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology* 11, 585–602. DOI: 10.1007/s11947-017-2034-9.
63. Zielińska, D., Turemko, M., Kwiatkowski, J., Zieliński, H., 2012. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants. *Molecules (Basel, Switzerland)* 17, 9668–9682. DOI: 10.3390/molecules17089668.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

A). Istotna aktywność naukowa habilitanta realizowana w innej jednostce naukowej poza macierzystą uczelnią dotyczy badań prowadzonych podczas trzymiesięcznego stażu naukowego odbytego w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Nowych Syntez Chemicznych w Puławach, w Zakładzie Ekstrakcji Nadkrytycznej w dniach 02.09.2019–02.12.2019 r. (załącznik nr 4, pkt. II.11, **staż nr 2**). Zakres stażu obejmował wykorzystanie zaawansowanych technik analitycznych w oznaczaniu związków bioaktywnych w surowcach i ekstraktach roślinnych, z uwzględnieniem chromatografii gazowej i cieczowej sprzężonej z detekcją mas. Tę część stażu habilitant odbywał w Laboratorium Związków Biologicznie Aktywnych. Stażysta brał również udział w pracach badawczych z wykorzystaniem instalacji ćwierć- i półtechnicznych do prowadzenia ekstrakcji nadkrytycznym CO₂ w Pracowni Technik Wysokich Ciśnień. Zakres stażu był w pełni związany z profilem badawczym Zakładu, a prace badawcze wykorzystane zostały podczas realizowania projektu BIOMagic (załącznik nr 4, pkt. II.9, **projekt nr 5**). W wyniku powiązanych prac badawczych opublikowano w późniejszym czasie szereg publikacji naukowych, w tym wchodzących w skład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (P1, P3, P4, P5) oraz wykazanych jako pozostałe osiągnięcia naukowe habilitanta (A36,

A38, A40) omówione odpowiednio: w punktach 4.3 i 4.4.2 B i D (kopie artykułów naukowych dołączono jako załącznik nr 5 do wniosku).

B). Oprócz powyższej aktywności, habilitant odbył również staż dydaktyczny w Instytucie Biologii i Ochrony Środowiska Akademii Pomorskiej w Słupsku w terminie 03.11.2014–24.11.2014 r. (załącznik nr 4, pkt. II.11, **staż nr 1**). Habilitant w tym czasie doskonalił metody chromatografii jonowej i toksykologii środowiskowej, które potem wspomogły realizację badań z tego zakresu (artykuły A35, A47) pomimo, że staż miał charakter dydaktyczny. Poza tym, poznane w czasie stażu metody chemometryczne (w tym analizy wielowymiarowej) wykorzystane zostały przy opracowywaniu wyników badań zaprezentowanych w kilku późniejszych publikacjach naukowych (m.in. P3, P5, A46).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

A. Koordynator projektu edukacyjnego (załącznik nr 4, pkt. II.14 B) i współautor wniosku o dofinansowanie projektu pt. „Kierunek zamawiany receptą na najlepszych ekspertów ochrony środowiska”, nr projektu POKL.04.01.02-00-114/10, Program Operacyjny Kapitał Ludzki (POKL), Europejski Fundusz Społeczny Unii Europejskiej, wartość projektu: 8 360 219 zł, okres realizacji: 2010–2015. Beneficjentami projektu było ponad 600 studentów kierunku ochrona środowiska studiujących na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa oraz Wydziale Nauk o Środowisku UWM w Olsztynie (2 nabory na studiach inżynierskich i 3 nabory na studiach magisterskich). Habilitant był odpowiedzialny za program stypendialny (przyznano stypendia na ponad 3,5 mln zł), zajęcia z wykorzystaniem mobilnego laboratorium monitoringu środowiska (zakupiono aparaturę dydaktyczną za ponad 0,5 mln zł) oraz za specjalistyczne szkolenia z analityki środowiskowej i systemów informacji przestrzennej. Projekt istotnie przyczynił się do zainteresowania kierunkiem studiów ochrona środowiska, a przede wszystkim zwiększył konkurencyjność studentów na rynku pracy. Habilitant otrzymał w 2015 roku Nagrodę Rektora UWM w Olsztynie za osiągnięcia w dziedzinie organizacyjnej (nagroda zespołowa II stopnia), związaną z uzyskaniem i koordynowaniem tego projektu.

B. Nagrody i wyróżnienia za osiągnięcia w dziedzinie dydaktycznej:

- Nagroda zespołowa Rektora UWM w Olsztynie (II stopnia), 2012 r.
- Nagroda zespołowa Rektora UWM w Olsztynie (II stopnia), 2016 r.

C. Opracowanie programu nowego kierunku studiów

Współautor wniosku i przewodniczący zespołu opracowującego program nowego kierunku studiów – gospodarowanie surowcami odnawialnymi i mineralnymi (01.10.2014–30.06.2015). Kierunek ten wszedł do oferty kształcenia na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa (obecnie: Wydział Rolnictwa i Leśnictwa) UWM w Olsztynie w roku akademickim 2016/2017.

D. Staż dydaktyczny (omówiony powyżej, w punkcie 5 B).

E. Funkcja opiekuna roku na kierunkach ochrona środowiska oraz architektura krajobrazu (studia I stopnia) powierzona przez Radę Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, 2011–2015.

F. Kształcenie na studiach I i II stopnia.

Opracował program i koordynuje 13 przedmiotów oraz prowadzi zajęcia na studiach I° i II° stopnia kształcenia, a także prowadzi ćwiczenia w ramach innych (niekoordynowanych) przedmiotów realizowanych w UWM w Olsztynie. Szczegóły zestawiono w tabeli 3.

Wypromował 54 dyplomantów na studiach inżynierskich I stopnia oraz 19 na studiach magisterskich II stopnia. Dodatkowo, w trakcie realizacji są obecnie 2 prace licencjackie oraz 2 prace magisterskie pod opieką habilitanta (tabela 4).

Tabela 3. Wykaz przedmiotów i zajęć prowadzonych na studiach I i II stopnia kształcenia.

L.p.	Przedmiot / rodzaj prowadzonych zajęć	Kierunek studiów / stopień kształcenia					
		ochrona środowiska	odnawialne źródła energii	gospodarowanie surowcami odnawialnymi i mineralnymi ^c	chemia	leśnictwo	architektura krajobrazu
A. Autorskie przedmioty koordynowane przez habilitanta / wykłady i ćwiczenia							
1	Technologie ochrony atmosfery	I°					
2	Technologie niskoemisyjne / Systemy ochrony powietrza	I°					
3	Ochrona powietrza i klimatu ^{ab}	II°					
4	Modelowanie oddziaływania instalacji energetycznych na jakość powietrza		II°				
5	Środowiskowe skutki przemysłu energetycznego		II°				
6	Niskoemisyjne technologie spalania paliw			I°			
7	Geosuwrowce chemiczne			I°			
8	Środowiskowe skutki przemysłu energetycznego i wydobywczego			I°			
9	Ochrona środowiska w działalności gospodarczej ^{ab}				II°		
10	Gospodarka cyrkulacyjna ^{ab}				II°		
11	Biopaliwa II i III generacji ^{ab}				II°		
12	Chemia i analityka powietrza ^a				I°		
13	Mitygacja zmian klimatycznych ^a					II°	
B. Pozostałe zajęcia (przedmioty niekoordynowane) / ćwiczenia							
1	Rekultywacja terenów zdegradowanych	I°					
2	Metody separacyjne				I°		
3	Chemia					I°	
4	Rekultywacja leśna					I°	
5	Rekultywacja krajobrazu						II°
6	Chemia analityczna						I°

^a nowe przedmioty, wchodzące do oferty kształcenia w latach akademickich 2023/2024 i 2024/2025,

^b przedmioty współkoordynowane z innym nauczycielem akademickim,

^c kierunek zamknięty w roku akademickim 2021/2022.

Tabela 4. Liczba prac dyplomowych na studiach I i II stopnia w UWM w Olsztynie, których promotorem był lub jest habilitant (2004–2023).

Kierunek studiów	studia I stopnia	studia magisterskie II stopnia	Razem
Ochrona środowiska (studia inżynierskie/magisterskie)	53	18	71
Odnawialne źródła energii (studia magisterskie)		3 ^a	3
Leśnictwo (studia inżynierskie)	1		1
Chemia (studia licencjackie)	2 ^a		2
RAZEM	56	21	77

^a w tym 4 osoby (2+2) w trakcie realizacji z planowaną obroną do 30 czerwca 2023 r.

G. Doskonalenie warsztatu dydaktyczno-naukowego – odbycie kursów i szkoleń, w tym:

- CS5 system oprogramowania dla zarządzania sieciami i stacjami monitoringu jakości powietrza atmosferycznego, CSMS Pszczyna, 2005 r.
- Chromatografia gazowa na poziomie podstawowym, Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, 2009 r.
- Menedżer bibliografii, UWM w Olsztynie, 2019 r.
- Grafika komputerowa, UWM w Olsztynie, 2019 r.
- Technika chromatografii gazowej ze spektrometrią mas (GC-MS), Laboratorium Badawczo-Rozwojowe EkotechLAB, Gdańsk, 2022 r.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

A. Członkostwo w gremiach pozauczelnianych:

- Ekspert Polskiej Komisji Akredytacyjnej – zespół nauk rolniczych, dyscyplina: rolnictwo i ogrodnictwo, 2021–nadal
<https://www.pka.edu.pl/lista-ekspertow-i-sekretarzy/>.
- Członek eksperckiej grupy roboczej ds. przygotowania projektów uchwał w sprawie wprowadzania ograniczeń i zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw na terenie województwa warmińsko-mazurskiego, tzw. uchwał „antysmogowych” (zarządzenia Marszałka Województwa Warmińsko-Mazurskiego Nr 109/2021 z dnia 17 maja 2021 roku; załącznik nr 5), 2021–nadal.
- Członek Zarządu Głównego w V Kadencji Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej (2004–2008). Obecnie – członek bez funkcji.

B. Członkostwo w zespołach ogólnouczelnianych (UWM w Olsztynie):

- Członek Zespołu ds. Realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju – Green Team (Decyzja 97/2021 Rektora UWM z dnia 14.10.2021 r.; załącznik nr 5), 2021–nadal.
- Członek Zespołu Projektowego ds. Opracowania Strategii Aspiracyjnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie powołanego przez Rektora UWM w Olsztynie (załącznik nr 5), 2021–2022.
- Członek Zespołu Projektowego „Centrum doskonalenia i metod kształcenia” powołanego przez Rektora UWM w Olsztynie (załącznik nr 5), 2022–2023.

- Członek Zespołu ds. Dyscypliny Nauki Chemiczne (Decyzja 119/2022 Rektora UWM w Olsztynie), kadencja 2023–2026.

C. Członkostwo w radach, komisjach i zespołach wydziałowych:

- Członek Rady Wydziału Kształowania Środowiska i Rolnictwa, 2012–2019.
- Przewodniczący Wydziałowego Zespołu ds. Promocji, 2020–nadal.
- Członek Wydziałowego Zespołu ds. Promocji, 2012–2020.
- Członek Wydziałowej Komisji Dydaktycznej (*Edukacyjnej od 2020*), Podkomisja ds. kierunków ochrona środowiska, gospodarowanie surowcami odnawialnymi i mineralnymi, odnawialne źródła energii, 2015–nadal.
- Członek Wydziałowej Komisji Nauki, 2020–nadal.

D. Nagrody Rektora UWM w Olsztynie za działalność organizacyjną:

- Nagrody za działalność organizacyjną, 2001, 2018, 2019, 2022 r.
- Nagroda za działalność organizacyjną (zespołowa, II stopnia), 2015 r.
- Nagroda za osiągnięcia w dziedzinie organizacyjnej (zespołowa I stopnia), 2020 r.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

A. Organizowanie warsztatów i pikników naukowych w ramach działalności na uczelni:

- Współorganizowanie Olsztyńskich Dni Nauki i Sztuki nieprzerwanie, corocznie od 2005 r., w tym w okresie pandemii Covid-19.
Przykładowy film z 2020 r.: <https://youtu.be/IY9jxQOUYKs>
- Wyróżnienia za działalność popularyzatorską
 - Medal – Podziękowanie Rektora UWM w Olsztynie za wieloletnie zaangażowanie i współpracę w realizację Olsztyńskich Dni Nauki i Sztuki, 2022 r.
 - Statuetka – Podziękowanie Marszałka Województwa Warmińsko-Mazurskiego za wieloletnie zaangażowanie i współpracę w realizację Olsztyńskich Dni Nauki i Sztuki, 2022 r.
 - Nominacja do tytułu "Wykładowca Roku 2016" i uzyskanie wyróżnienia Fundacji Uniwersytet Dzieci za ogromne zaangażowanie podczas przygotowania i prowadzenia warsztatów, 2016 r.
- Przygotowanie stoiska i prowadzenie pokazów eksperymentów naukowych na Piknikach Naukowych z okazji XV i XX-lecia UWM w Olsztynie, 2014, 2019 r.
- Przygotowanie stoisk i prowadzenie pokazów eksperymentów naukowych na festiwalach naukowych i dniach otwartych w szkołach regionu w Kętrzynie (2018), Nidzicy (2018), Ostródzie (2020).
- Cykliczne warsztaty organizowane dla szkół średnich w ramach programu Szkoła Partnerska Wydziału Rolnictwa i Leśnictwa, 2018–nadal.
- SpinDay2017 Międzynarodowy Dzień Centrów i Muzeów Nauki – pokaz eksperymentów i wykład pt. "Łowca smogu kontra smog", Olsztyn, 2017.

B. Prelekcje i warsztaty zlecane przez podmioty z otoczenia społeczno-gospodarczego:

- Wykłady dla uczniów szkół średnich na zlecenie Centrum Edukacji Ekologicznej „Natura” w Ostródzie, 2010 r.
- Realizacja licznych corocznych autorskich zajęć (warsztatów i wykładów z pokazami) dla dzieci i młodzieży szkolnej organizowanych przez Fundację Uniwersytet Dzieci (kierunki/poziomy: Odkrywanie, Tematy, Mistrz i Uczeń), 2014–2020.

- Wykłady popularyzatorskie dla młodzieży i dorosłych organizowane przez Fundację na Rzecz Rozwoju Telewizji Lokalnych „Veritas”, Olsztyn, Mrągowo, 2022–2023.
- Wykłady i warsztaty dla nauczycieli i uczniów szkół średnich organizowane przez Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli w Elblągu, 2022–2023.

C. Popularyzacja nauki w mediach:

- Udzielanie licznych wywiadów dla TVP3 Olsztyn, Radia Olsztyn, TV Kopernik, Radia Eska, Radia Plus, Wiadomości Uniwersyteckich, 2017–nadal.
Przykładowe wywiady: [https://olsztyn.tvp.pl/57808933/5122-godz-1830\(1'25''\)](https://olsztyn.tvp.pl/57808933/5122-godz-1830(1'25'')),
[https://olsztyn.tvp.pl/65197120/201222-godz-2130\(6'13''\)](https://olsztyn.tvp.pl/65197120/201222-godz-2130(6'13'')), <https://olsztyn.tvp.pl/47465213/6420-godz-2130> (<https://www.facebook.com/TelewizjaKopernik/posts/2885056954919853>)
- Administrowanie i tworzenie treści popularno-naukowych na trzech platformach mediów społecznościowych (TikTok, Facebook, Instagram) – profile: @ChemiaUWM; łączna liczba wyświetleń filmów i postów: około 2 mln; 2020–nadal.
<https://www.tiktok.com/@chemiauwm>,
<https://www.facebook.com/ChemiaUWM>,
<https://www.instagram.com/chemiauwm/>.
- Udział w reportażu telewizyjnym TVN pt. „Nauka w sieci” dla programu Dzień Dobry TVN (na temat profilu popularno-naukowego @ChemiaUWM na platformie TikTok), 2022 r.
Film i artykuł na powyższy temat dostępny na stronie DD TVN: <https://dziendobry.tvn.pl/styl-zycia/technologie/naukowcy-z-tiktoka-jakie-profile-warto-odwiedzic-5636426>
- Wykład w ramach Otwartych Wykładów Online UWM, Radio UWMFM i Telewizja Kortowo, 2020 r.; <https://www.facebook.com/uwmfm/posts/10157980863600782>.
- Udział w nagraniach filmów o kierunku chemia (4 odcinki) – Telewizja Kortowo, 2020 r.:
<https://youtu.be/uu1XMEQprhs>, <https://youtu.be/umkdKNBBnUM>, <https://youtu.be/K67jSWFPi6Y>,
<https://youtu.be/EV5LqFR5L9Q>.
- Nagrania podcastów popularno-naukowych do audycji „Postój z nauką” emitowanych na łamach Radia UWMFM, 2022–nadal.
Przykładowe podcasty dostępne online:
(i) O wybitnym polskim chemiku, przedsiębiorcy i Prezydencie RP Ignacym Mościckim
<http://uwmfm.pl/.../10481/postoj-z-nauka-05-08-12-2022.html>, (ii) Kalendarium chemiczne:
<http://www.uwmfm.pl/news/1991/czytaj/10165/postoj-z-nauka-3-6-10-2022.html>, (iii) O smogu letnim i zimowym: <http://www.uwmfm.pl/news/1991/czytaj/10230/postoj-z-nauka-17-20-10-2022.html>,
(iv) Freony i dziura ozonowa: <http://www.uwmfm.pl/news/1991/czytaj/10743/postoj-z-nauka-23-26-01-2023.html>, (v) O pierwiastku mazur (masurium):
<http://www.uwmfm.pl/news/1991/czytaj/10898/postoj-z-nauka-20-23-02-2023.html>

D. Projekt popularyzujący naukę:

- Przygotowanie wniosku o dofinansowanie międzywydziałowego projektu popularyzatorskiego pt. „Uniwersyteckie Spotkania z Nauką” złożonego w programie Ministra Edukacji i Nauki „Społeczna Odpowiedzialność Nauki II” w module Popularyzacja nauki, wnioskowana kwota: 494 347,00 zł, rola habilitanta w projekcie: zastępca kierownika projektu; status wniosku: w trakcie oceny; 2023 r.

7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.

A. Udział w kształceniu kadr.

Habilitant jest **promotorem pomocniczym** rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Dudźca, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo (Uchwała Nr 37/2022 Rady Naukowej Szkoły Doktorskiej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 15.12.2022 r.; załącznik nr 5). Planowany okres realizacji 2022–2026. Promotorem jest prof. dr hab. inż. Mariusz J. Stolarski. Rozprawa doktorska dotyczy kaskadowego, wielokierunkowego wykorzystania konopi siewnych na potrzeby pozyskiwania substancji biologicznie czynnych (terpenoidy, kanabidiol i jego pochodne, związki fenolowe), surowców żywnościowych (olej, białko) i bioenergii.

B. Aktywność w projektach.

W ostatnich kilku latach zwiększona została aktywność w zakresie pozyskiwania i realizacji projektów naukowych zarówno na poziomie krajowym jak również międzynarodowym, w tym do najważniejszych zaliczają się:

- Wykonawca interdyscyplinarnego projektu krajowego pt. „Bioproducty z biomasy lignocelulozowej pozyskanej z gruntów marginalnych w celu wypełnienia luki obecnej w narodowej biogospodarce” (BIOmagic), Projekt realizowany w latach 2017–2021 w ramach programu NCBR, Biostrateg III (nr BIOSTRATEG3/344253/2/NCBR/2017). W projekt zaangażowanych było 7 krajowych partnerów: Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (lider); Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntez Chemicznych; Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy; Instytut Technologiczno-Przyrodniczy; Uniwersytet Medyczny w Lublinie i dwie firmy (Quercus Sp. z o.o. oraz Chemprof Sp. z o.o.). Należy tu wspomnieć, że większość badań w cyklu publikacji (**P1, P3, P4, P5**) była realizowana i finansowana w ramach projektu BIOmagic. Ponadto powstały inne publikacje naukowe, w których habilitant jest współautorem.
- Wykonawca międzynarodowego projektu pt. „Unlocking the Potential of Bio-based Value Chains in the Baltic Sea Region” (BalticBiomass4Value) w ramach programu Interreg Baltic Sea Region Programme, nr projektu: #R095. W projekt zaangażowanych było 17 partnerów z 8 państw (Litwa, Łotwa, Estonia, Polska, Niemcy, Norwegia, Szwecja, Rosja), lata realizacji 2019–2021. W ramach tego projektu powstała publikacja o zakresie międzynarodowym, o najwyższym IF spośród wszystkich artykułów habilitanta (**A39**: Stolarski M.J., Warmiński K., Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Akincza M. 2020. Bioenergy technologies and biomass potential vary in northern European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110238, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110238>, **IF 14.982**; 200 pkt).
- Ponadto w ostatnim czasie badania zostały poszerzone o wykorzystanie biomasowych pozostałości poprodukcyjnych do hodowli mącznika młynarka. W tym zakresie również uzyskano projekt międzynarodowy, w którym habilitant pełni funkcję kierownika zadania i wykonawcy; projekt pt. „Growth performance, chemical composition and valorisation of residues of yellow mealworm fed with pretreated lignocellulosic biomasses” (2GenBug), realizowany w ramach współpracy bilateralnej NCN – Opus LAP. W projekt zaangażowany jest UWM w Olsztynie i Hochschule Offenburg (Niemcy), lata realizacji 2022–2024.

C. Nagrody za osiągnięcia naukowe.

- Nagrody Rektora UWM w Olsztynie za osiągnięcia naukowe, 2002, 2005 r.

- Stypendium Rektora UWM w Olsztynie przyznane pracownikom wykazującym szczególną aktywność naukową, 2007 r.
- Nagrody Rektora UWM w Olsztynie za działalność naukową – za najlepsze artykuły naukowe (na podstawie Zarządzeń Rektora UWM nr 79/2018 oraz Decyzji Nr 198/2019, 153/2020, 68/2021, 94/2022), 2018–2022.



Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo

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

1. **Monografia naukowa**, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy.
—
2. **Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy.

Tytuł cyklu: „*Produkcja i kaskadowe wykorzystanie biomasy lignocelulozowej wieloletnich roślin przemysłowych jako element biogospodarki*”

P1. Stolarski M.J., **Warmiński K.**[✉], Krzyżaniak M. 2020. Energy value of yield and biomass quality of poplar grown in two consecutive 4-year harvest rotations in the north-east of Poland. *Energies*, 13, 1495. <https://doi.org/10.3390/en13061495>.

(**IF 3,004**, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 14, Scopus: 16).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P2. Stolarski M.J., **Warmiński K.**[✉], Krzyżaniak M., Olba–Zięty E., Stachowicz P. 2020. Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period – Renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 204, 117952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117952>.

(**IF 7.147**, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 15, Scopus: 17).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P3. Warmiński K.[✉], Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock. *Industrial Crops and Products*, 171, 113976. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113976>.

(IF 6,449, MEiN 200 pkt., cytowania WoS: 10, Scopus: 16).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej (w tym wykonaniu analiz wielowymiarowych), analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P4. Warmiński K.[✉], Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Phenolic content and antioxidant capacity of willow bark obtained in an annual cutting cycle. *Journal of Elementology*, 26(2): 519-529. <https://doi.org/10.5601/jelem.2021.26.2.2159>.

(IF 0,923, MEiN 70 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 0).

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, pozyskaniu finansowania i wykonaniu badań, administracji nad projektem, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej, analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

P5. Stolarski M.J., Warmiński K.[✉], Krzyżaniak M., Olba-Zięty E. 2022. Cascaded use of perennial industrial crop biomass: The effect of biomass type and pre-treatment method on pellet properties. *Industrial Crops and Products*, 185, 115104. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115104>.

(IF 6,449, MEiN 200 pkt. cytowania WoS: 2, Scopus: 4)

Wkład habilitanta w powstanie pracy polegał na współpracowaniu koncepcji badań i metodyki, wykonaniu badań, dostarczeniu zasobów i utrzymywaniu danych badawczych, opracowaniu wyników badań i ich analizie statystycznej (w tym analizie wielowymiarowej), analizie i walidacji danych, opracowaniu przeglądu literatury, napisaniu i redakcji oryginalnej (wstępnej) i końcowej (po recenzjach) wersji pracy, wizualizacji danych, sformułowaniu wniosków, przeprowadzeniu manuskryptu przez cały proces wydawniczy.

[✉] Autora korespondencyjnego publikacji oznaczono symbolem koperty.

Artykuły naukowe nr **P1** i **P3-P5** są wynikiem badań finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” – Biostrateg III; projekt pt. „Bioprodukty z biomasy lignocelulozowej pozyskanej z gruntów marginalnych w celu wypełnienia luki obecnej w narodowej biogospodarce” (BIOMagic), nr projektu: BIOSTRATEG3/344253/2/NCBR/2017.

Kopie artykułów **P1-P5** zamieszczono w załączniku nr 5.

3. **Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy.**

—

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

1. **Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1).**

—

2. **Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.**

❖ *Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

- RM1.** Adomas B., Murawa D., Banaszkiwicz T., **Warmiński K.** 2000. Occurrence of diseases in spring rape cultivars treated with herbicides. [In:] Proceedings of AFPP-sixth International Conference on Plant Diseases, Tours, France, 2, s. 853-856.
- RM2.** Murawa D., Adomas B., Banaszkiwicz T., **Warmiński K.**, 2000. Synergistic effect of pesticides on diseases occurrence in spring rape cultivars. [In:] Proceedings of AFPP-sixth International Conference on Plant Diseases, Tours, France, 2, s. 905-908.
- RM3.** Rotkiewicz D., Konopka J., Murawa D., **Warmiński K.** 2001. Jakość oleju rzepakowego otrzymanego z nasion roślin traktowanych kombinacjami środków ochrony roślin. [In:] Proceedings of IX International Scientific Conference „Progress in Technology of Vegetable Fats”, Kowno, Litwa, s. 117-125.

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora:*

- RM4.** **Warmiński K.** 2009. Źródła niskiej emisji SO₂ i NO_x a jakość powietrza na terenie rekreacyjnym nad jeziorem Kortowskim w Olsztynie. [W:] Materiały konferencyjne, II Pomorska Konferencja z cyklu Jakość powietrza. ISBN 978-83-928986-1-0. Politechnika Gdańska, s. 184-194.
- RM5.** **Warmiński K.**, Bęś A. 2011. Koncepcja budowy fluorescencyjnego biosensora ozonu i innych gazów fitotoksycznych z jednokomórkowymi glonami w roli receptora. [W:] Jakość powietrza a jakość życia, pod redakcją Jacka Namieśnika, Waldemara Wardenckiego, Justyny Gromadzkiej. ISBN 978-83-928986-8-9, Politechnika Gdańska, s. 132-139.
- RM6.** **Warmiński K.**, Wiczowski W. 2011. Aspekty praktyczne wykorzystania chromatografii gazowej (GC) w analityce środowiskowej. [W:] Analityka i monitoring środowiska. Teoria i praktyka, pod redakcją Kazimierza Warmińskiego. ISBN 978-83-62863-12-9. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Pracownia Wydawnicza „El-Set”, s. 71-97.
- RM7.** **Warmiński K.**, Bęś A. 2011. Współczesna analiza instrumentalna w monitoringu jakości powietrza atmosferycznego. Automatyzacja systemów. [W:] Analityka i monitoring środowiska. Teoria i praktyka, pod redakcją Kazimierza Warmińskiego. ISBN 978-83-62863-12-9. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Pracownia Wydawnicza „El-Set”, Olsztyn, s. 196-224.

3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii.

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora:*

M1. Warmiński K. (red.). 2011. *Analityka i monitoring środowiska. Teoria i praktyka*. ISBN 978-83-62863-12-9. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Pracownia Wydawnicza „El-Set”, stron 279, 11 arkuszy wydawniczych.

4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.2).

Pozycje wymienione w pkt. I.2 zostały podkreślone (P1-P5), a niewymienione – niepodkreślone.

❖ *Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

- A1.** Murawa D., **Warmiński K.**, Pykało I. 2000. Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku jarego w zależności od stosowanych herbicydów. *Rośliny Oleiste*, 21(3), 819-825. (MNiSW 3 pkt.).
- A2.** Rotkiewicz D., Murawa D., Konopka I., **Warmiński K.** 2000. Glukozynolany nasion dwóch odmian rzepaku jarego traktowanego herbicydami. *Rośliny Oleiste*, 21(1), 271-277. (MNiSW 3 pkt.).
- A3.** Murawa D., Pykało I., **Warmiński K.** 2001. Olej i jego skład kwasowy oraz zawartość białka w nasionach dwóch odmian gorzycy białej Nakielska i Borowska ze zbioru 1999 roku traktowanej herbicydami. *Rośliny Oleiste*, 22(1), 259-264. (MNiSW 3 pkt.).
- A4.** Rotkiewicz D., Konopka I., Murawa D., **Warmiński K.** 2001. Wpływ wybranych kombinacji środków ochrony roślin na zawartość związków fosforu w nasionach i oleju rzepakowym. *Biuletyn Naukowy*, 12, 391-397. (MNiSW 3 pkt.).
- A5.** Rotkiewicz D., Murawa D., Konopka I., **Warmiński K.** 2001. Wartość technologiczna nasion rzepaku jarego traktowanego różnymi kombinacjami środków ochrony roślin. *Rośliny Oleiste*, 22, 1: 291-302. (MNiSW 3 pkt.).
- A6.** **Warmiński K.**, Murawa D., Adomas B., Pykało I. 2001. Olej i białko nasion rzepaku jarego odmiany populacyjnej Star i mieszańcowej złożonej Margo uprawianych w 1999 roku w zależności od stosowanych środków ochrony roślin. *Rośliny Oleiste*, 22(1), 265-272. (MNiSW 3 pkt.).

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora:*

- A7.** Murawa D., **Warmiński K.** 2004. Plonowanie rzepaku jarego w warunkach zróżnicowanej ochrony. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 3(2), 221-233. (MNiSW 3 pkt.).

- A8.** Murawa D., **Warmiński K.** 2005. Zróżnicowana ochrona rzepaku jarego a skład i stabilność oksydacyjna oleju. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 26(2), 571-585. (MNiSW 3 pkt.).
- A9.** Murawa D., **Warmiński K.** 2005. Wpływ zróżnicowanej ochrony roślin na skład chemiczny nasion rzepaku jarego. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 4(1), 77-87. (MNiSW 3 pkt.).
- A10.** Murawa D., **Warmiński K.**, Wiśniewska J., Jaworska B. 2005. Fotosynteza i respiracja fitoplanktonu w wodzie skażonej przez herbicydy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 505, 243-249. (MNiSW 3 pkt.).
- A11.** Rogalski L., Bęś A., **Warmiński K.** 2005. Emisja dwutlenku węgla określana w zależności od rekultywowanego utworu glebowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 505, 361-367. (MNiSW 3 pkt.).
- A12.** **Warmiński K.**, Rogalski L., Bęś A. 2005. Oddziaływanie dwutlenku siarki i siarczanów(IV) na zanik chlorofilu w niektórych roślinach wskaźnikowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 505, 491-501. (MNiSW 3 pkt.).
- A13.** **Warmiński K.**, Rogalski L. 2006. Kierunek wiatru jako czynnik determinujący poziom emisji tlenu i ditlenku azotu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 513, 517-525. (MNiSW 3 pkt.).
- A14.** Murawa D., **Warmiński K.**, Sulima J., Orzechowski S. 2006. QSAR Analysis in Studies on the Acute Toxicity of Insecticides to Aquatic Organisms. *Polish Journal of Natural Science*, 21(2), 871-881. (MNiSW 10 pkt.).
- A15.** Rogalski L., **Warmiński K.** 2007. Relationship between anthropogenic emission and wet deposition of mercury in European countries. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, XXXVI, Supplement 3, 19-30. (MNiSW 4 pkt.).
- A16.** Rogalski L., **Warmiński K.** 2007. Emisja rtęci do atmosfery w krajach Unii Europejskiej w odniesieniu do parametrów demograficznych, obszarowych i gospodarczych. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 3-4, 77-85. (MNiSW 2 pkt.).
- A17.** **Warmiński K.**, Rogalski L. 2007. Analysis of Photochemical Reactions of Ozone and Its Precursors in the Troposphere in the Summer and Winter Periods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(3B), 497-502. (MNiSW 10 pkt.).
- A18.** Rogalski L., Bęś A., **Warmiński K.** 2008. Carbon Dioxide Emission to the Atmosphere from Overburden under Controlled Temperature Conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 17(3), 427-432. (IF 0.963, MNiSW 10 pkt., cytowania WoS: 3, Scopus: 2).
- A19.** **Warmiński K.**, Bęś A. 2009. Diurnal and Seasonal Variations in the NO₂ Photolysis Rate Constant, NO Titration Rate Constant and the NO₂/NO Ratio in Ambient Air in the City of Olsztyn. *Ecological Chemistry and Engineering A*, 16(8):1029-1037. (MNiSW 6 pkt., cytowania WoS: 2, Scopus: 0).
- A20.** Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Śnieg M. 2013. Energy, economic and environmental assessment of heating a family house with biomass. *Energy and Buildings*, 66: 395-404. <https://doi.org/10.15244/pjoes/59333> (IF 2.465, MNiSW 40 pkt., cytowania WoS: 26, Scopus: 29).
- A21.** Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Tworowski J., Szczukowski S. 2015. Willow biomass energy generation efficiency and greenhouse gas reduction potential. *Polish Journal*

- of Environmental Studies, 24(6), 2627-2640. (IF 0.79, MNiSW 15 pkt., cytowania WoS: 12, Scopus: 11).
- A22. Baciak M., **Warmiński K.**, Bęś A. 2015. Oddziaływanie gazowych zanieczyszczeń powietrza na rośliny drzewiaste. *Leśne Prace Badawcze*, 76(4), 401-409. (MNiSW 13 pkt.).
- A23. Bęś A., **Warmiński K.** 2015. Zmiany zawartości węgla organicznego w rekultywowanych glebach lekkich. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 67, 3-12. (MNiSW 10 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 2).
- A24. Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Niksa D. 2016. Energy consumption and costs of heating a detached house with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Conversion and Management*, 121, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.031> (IF 5.589, MNiSW 45 pkt., cytowania WoS: 31, Scopus: 30).
- A25. Bęś A., **Warmiński K.** 2017. Respiratory activity of soils contaminated with diesel oil. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Series Agricultural Engineering*, 20(4), #10. <http://dx.doi.org/10.30825/5.EJPAU.37.2017.20.4> (MNiSW 12 pkt.).
- A26. Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Tworkowski J., Szczukowski S, Olba–Zięty E., Gołaszewski J. 2017. Energy efficiency of perennial herbaceous crops production depending on the type of digestate and mineral fertilizers. *Energy*, 134, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.195> (IF 4.968, MNiSW 45 pkt., cytowania WoS: 24, Scopus: 28).
- A27. Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Tworkowski J., Szczukowski S. 2017. Perennial herbaceous crops as a feedstock for energy and industrial purposes: Organic and mineral fertilizers versus biomass yield and efficient nitrogen utilization. *Industrial Crops and Products*, 107, 244-259. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.059> (IF 3.849, MNiSW 40 pkt., cytowania WoS: 24, Scopus: 24).
- A28. Bęś A., **Warmiński K.**, Błaszczok A., Roczeń A., Rutkowska K. 2018. Wpływ antropopresji na asymetrię fluktuacyjną igieł sosny zwyczajnej. *Inżynieria Ekologiczna*, 19(1), 86-95. <https://doi.org/10.12912/23920629/82952> (MNiSW 9 pkt.).
- A29. Krzyżaniak M., Stolarski M.J., **Warmiński K.** 2018. Life cycle assessment of Virginia mallow production with different fertilisation options. *Journal of Cleaner Production*, 177, 824-836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.275> (IF 6.395, MNiSW 40 pkt., cytowania WoS: 19, Scopus: 19).
- A30. **Warmiński K.**, Bęś A. 2018. Atmospheric Factors Affecting a Decrease in the Night-Time Concentrations of Tropospheric Ozone in a Low-Polluted Urban Area. *Water Air & Soil Pollution*, 229, 350. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4012-x> (IF 1.774, MNiSW 25 pkt., cytowania WoS: 12, Scopus: 16).
- A31. Bęś A., **Warmiński K.**, Adomas B. 2019. Long-term responses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) to the contamination of light soils with diesel oil. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11), 10587–10608. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04328-6> (IF 3.056, MNiSW 70 pkt., cytowania WoS: 12, Scopus: 12).
- A32. Krzyżaniak M., Stolarski M.J., **Warmiński K.** 2019. Life cycle assessment of poplar production: Environmental impact of different soil enrichment methods. *Journal of Cleaner Production*, 206, 785-796. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.180> (IF 7.246, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 25, Scopus: 29).

- A33.** Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Olba-Zięty E., Penni D., Bordiean A. 2019. Energy efficiency indices for lignocellulosic biomass production: Short rotation coppices versus grasses and other herbaceous crops. *Industrial Crops and Products*, 135: 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.022> (IF 4.244, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 19, Scopus: 21).
- A34.** Tyśkiewicz K., Konkol M., Kowalski R., Rój E., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Gil Ł., Stolarski M.J. 2019. Characterization of bioactive compounds in the biomass of black locust, poplar and willow. *Trees—Structure and Function*, 33(5), 1235-1263. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01837-2> (IF 2.125, MNiSW 100 pkt., cytowania WoS: 40, Scopus: 38).
- A35.** Adomas B., Sikorski Ł., Beś A., **Warmiński K.** 2020. Exposure of *Lemna minor* L. to gentian violet or Congo red is associated with changes in the biosynthesis pathway of biogenic amines. *Chemosphere*, 254, 126752. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126752> (IF 7.086, MNiSW 100 pkt., cytowania WoS: 13, Scopus: 18).
- A36.** Krzyżaniak M., Stolarski M.J., **Warmiński K.** 2020. Life cycle assessment of giant miscanthus: Production on marginal soil with various fertilisation treatments. *Energies*, 13(8), 1931. <https://doi.org/10.3390/en13081931> (IF 3.004, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 10, Scopus: 15).
- A37.** Olba-Zięty E., Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.** 2020. Willow Cultivation as Feedstock for Bioenergy - External Production Cost. *Energies*, 13(18), 4799. <https://doi.org/10.3390/en13184799> (IF 3.004, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 3, Scopus: 3).
- A38.** Stolarski M.J., Krzyżaniak M., **Warmiński K.**, Załuski D., Olba-Zięty E. 2020. Willow Biomass as Energy Feedstock: The effect of habitat, genotype and harvest rotation on thermophysical properties and elemental composition. *Energies*, 13(16), 4130. <https://doi.org/10.3390/en13164130> (IF 3.004, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 7).
- A39.** Stolarski M.J., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Akincza M. 2020. Bioenergy technologies and biomass potential vary in Northern European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110238> (IF 14.982, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 24, Scopus: 25).
- A40.** Stolarski M.J., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Tyśkiewicz K., Olba-Zięty E., Graban Ł., Lajszner W., Załuski D., Wiejak R., Kamiński P., Rój E. 2020. How does extraction of biologically active substances with supercritical carbon dioxide affect lignocellulosic biomass properties. *Wood Science and Technology*, 54, 519-546. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01182-5> (IF 2.506, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 14, Scopus: 18).
- A41. (P1)** Stolarski M.J., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M. 2020. Energy value of yield and biomass quality of poplar grown in two consecutive 4-year harvest rotations in the north-east of Poland. *Energies*, 13(6), 1495. <https://doi.org/10.3390/en13061495> (IF 3.004, MNiSW 140 pkt., cytowania WoS: 14, Scopus: 16).
- A42. (P2)** Stolarski M.J., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Stachowicz P. 2020. Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period – renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 204, 117952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117952> (IF 7.147, MNiSW 200 pkt., cytowania WoS: 15, Scopus: 17).
- A43. (P3)** **Warmiński K.**, Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock. *Industrial Crops and Products*, 171,

113976. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113976> (IF 6.449, MEiN 200 pkt., cytowania WoS: 10, Scopus: 16).
- A44. (P4) **Warmiński K.**, Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Phenolic content and antioxidant capacity of willow bark obtained in an annual cutting cycle. *Journal of Elementology*, 26(2), 519-529. <https://doi.org/10.5601/jelem.2021.26.2.2159> (IF 0.923, MEiN 70 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 0).
- A45. (P5) Stolarski M.J., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Olba-Zięty E. 2022. Cascaded use of perennial industrial crop biomass: The effect of biomass type and pre-treatment method on pellet properties. *Industrial Crops and Products*, 185, 115104. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115104> (IF 6.449, MEiN 200 pkt., cytowania WoS: 2, Scopus: 4).
- A46. Stolarski M.J., Gil Ł., **Warmiński K.**, Krzyżaniak M., Olba-Zięty E. 2022. Short rotation woody crops as a source of bioactive compounds depending on genotype and harvest cycle. *Industrial Crops and Products*, 180, 114770. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114770> (IF 6.449, MEiN 200 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 0).
- A47. Sikorski Ł., Bęś A., **Warmiński K.** 2023. The Effect of Quinolones on Common Duckweed *Lemna minor* L., a Hydrophyte Bioindicator of Environmental Pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5089. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065089> (MEiN 140 pkt., cytowania WoS: 0, Scopus: 0).

5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych

(z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).

—

6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).

—

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

7.1. Wygłoszone referaty na konferencjach naukowych

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora:*

- RK1. Warmiński K.**, Rogalski L., Bęś A. 2007. Identyfikacja czynników determinujących spadek stężenia ozonu troposferycznego w godzinach nocnych. Konferencja „Ochrona i inżynieria środowiska – zrównowazony rozwój”, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; Kraków 21-23 czerwca 2007 r. [referat wygłoszony w sekcji „Ochrona Powietrza P2”].

- RK2. Warmiński K., Bęś A., Adomas B.** 2019. Jakość powietrza w Europie – analiza ryzyka zdrowotnego, wpływu na rośliny uprawne i kwantyfikacja szkód. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Wpływ środowiska na życie i zdrowie człowieka”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Uniwersytet w Białymstoku; Olsztyn 10-11 października 2019 r. [referat wygłoszony w sekcji „Wielofunkcyjność rolnictwa i leśnictwa”]
- RK3. Warmiński K.** 2021. Analiza i modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z instalacji ciepłowniczej. Seminarium „Transgraniczna promocja wytycznych wdrażania dobrych praktyk w zakresie rozwoju biogospodarki o obiegu zamkniętym na szczeblu lokalnym wśród władz publicznych”. Program regionu Morza Bałtyckiego Interreg na lata 2014-2020, “Odblokowanie potencjału łańcuchów wartości opartych na biosurowcach w Regionie Morza Bałtyckiego (BSR)”. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 16 czerwca 2021 r. (on-line).

7.2. Pozostałe formy udziału w konferencjach naukowych

❖ *Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

- PK1.** Konferencja Naukowa „Środki ochrony roślin – środowisko, żywność, zdrowie człowieka”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Warmińsko-Mazurski Urząd Wojewódzki, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Olsztynie, Bank Ochrony Środowiska; Olsztyn 16-17 listopada 2000 r., sesja posterowa:
- Warmiński K., Pykało I., Murawa D. 2000. Klasyfikacja toksykologiczna środków ochrony roślin a ich szkodliwość dla środowiska. Streszczenia, 85-86.
 - Pykało I., Warmiński K., Murawa D. 2000. Substancje biologicznie czynne i toksyczność ostra dla ludzi środków ochrony roślin zarejestrowanych w Polsce w latach 1992-2000. Streszczenia, 83-84.
 - Rotkiewicz D., Konopka I., Murawa D., Warmiński K. 2000. Jakość oleju z nasion rzepaku jarego w zależności od stosowanych środków ochrony roślin. Streszczenia, 77.
 - Rotkiewicz D., Konopka I., Murawa D., Warmiński K. 2000. Wpływ wybranych wariantów chemicznej ochrony roślin na zawartość związków fosforu w nasionach i oleju rzepakowym. Streszczenia, 76.
- PK2.** Konferencja Naukowa „Toksykologiczne i farmakologiczne aspekty działania ksenobiotyków”, Olsztyn 7-8 września 2000 r., sesja posterowa:
- Murawa D., Pykało I., Warmiński K. 2000. Wybrane związki antyodżywcze w nasionach gorczycy białej (*Sinapis alba* L.) w aspekcie stosowanych herbicydów. Streszczenia, 54.
- PK3.** XXII Konferencja Naukowa „Rośliny Oleiste”, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Poznań 28-29 marca 2000 r., sesja posterowa:
- Murawa D., Warmiński K., Pykało I. 2000. Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku jarego ze zbioru 1999 r. w aspekcie stosowanych herbicydów. Streszczenia, 44.
 - Rotkiewicz D., Murawa D., Konopka I., Warmiński K. 2000. Glukozynolany nasion rzepaku jarego traktowanego herbicydami. Streszczenia, 45.
 - Murawa D., Adomas B., Warmiński K. 2000. Ocena przydatności herbicydów stosowanych w rzepaku jarym w latach 1997-1999. Streszczenia, 46.
 - Pykało I., Murawa D., Warmiński K. 2000. Efekty chemicznego zwalczania chwastów gorczycy białej w latach 1998-1999. Streszczenia, 47.
 - Murawa D., Pykało I., Warmiński K. 2000. Olej i białko w nasionach gorczycy białej ze zbioru 1999 r. traktowanej herbicydami.
- PK4.** XXIII Konferencja Naukowa „Rośliny Oleiste”, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Poznań 27-28 marca 2001 r., sesja posterowa:
- Warmiński K., Murawa D., Adomas B., Pykało I. 2001. Olej i białko nasion rzepaku jarego odmiany populacyjnej Star i mieszańcowej złożonej Margo uprawianych w 1999 roku w zależności od stosowanych środków ochrony roślin.

- b. Rotkiewicz D., Murawa D., Konopka I., Warmiński K. 2001. Wartość technologiczna nasion rzepaku jarego uprawianego z zastosowaniem różnych kombinacji środków ochrony roślin. *Streszczenia*, 72-73.
 - c. Murawa D., Adomas B., Warmiński K., Pykało I. 2001. Zawartość składników mineralnych w nasionach rzepaku jarego i gorczycy białej w zależności od stosowanych środków ochrony roślin. *Streszczenia*, 75.
- PK5.** IX International Scientific Conference „Progress in Technology of Vegetable Fats”, 21-24 maja 2001 r., Kowno, Litwa, sesja posterowa:
- d. Rotkiewicz D., Konopka J., Murawa D., Warmiński K. 2001. Jakość oleju rzepakowego otrzymanego z nasion roślin traktowanych kombinacjami środków ochrony roślin. *Materiały konferencyjne*, 117-125.
- ❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora*
- PK6.** XXVII Konferencja Naukowa „Rośliny Oleiste” – 27th Scientific Conference „Oilseed Crops”, Poznań 12-13.04.2005r., sesja posterowa:
- a. Murawa D., Warmiński K. 2005. Zróżnicowana ochrona rzepaku jarego a skład i stabilność oksydacyjna oleju. *Streszczenia*: 167-168.
- PK7.** II Konferencja Naukowa „Kształtowanie i ochrona środowiska – uwarunkowania przyrodnicze, techniczne i społeczno-ekonomiczne”, UWM w Olsztynie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Olsztyn 15-17.06.2005 r., sesja posterowa:
- a. Warmiński K., Rogalski L., Bęś A. 2005. Reakcja niektórych roślin wskaźnikowych na dwutlenek siarki i siarczyny w testach krótkoterminowych, *Inżynieria Ekologiczna*, 12: 83-84.
 - b. Rogalski L. Bęś A., Warmiński K. 2005. Emisja dwutlenku węgla z utworów glebowych rekultywowanych osadem ściekowym. *Inżynieria Ekologiczna*, 13: 160-161.
 - c. Murawa D., Warmiński K., Wiśniewska J., Orzechowski S. 2005. Analiza QSAR w prognozowaniu toksyczności zoocydów o działaniu neurotoksycznym. *Inżynieria Ekologiczna*, 11: 218-219.
 - d. Murawa D., Warmiński K., Wiśniewska J., Jaworska B. Fotosynteza i respiracja fitoplanktonu w wodzie skażonej przez herbicydy. *Inżynieria Ekologiczna*, 13: 126-127.
- PK8.** II Konferencja Naukowa „Azotany w ekosystemach rolniczych”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn 20-21.06.2006 r., sesja posterowa:
- a. Warmiński K., Rogalski L. 2006. Wykorzystanie analizy napływu zanieczyszczeń powietrza do identyfikacji źródeł tlenków azotu.
- PK9.** 11th International Conference on Chemistry and the Environment ICCE-DCE’2007 “Chemistry, Environment & Human Activity in Civilization Development”, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Toruń 9-12 September 2007, Poster Session:
- a. Warmiński K., Rogalski L., Bęś A. 2007. Identyfikacja czynników determinujących spadek stężenia ozonu troposferycznego w godzinach nocnych.
 - a. Warmiński K., Rogalski L., Bęś A. 2007. Barwniki fotosyntetyczne jako biomarkery narażenia porostów i sosny zwyczajnej na ditlenek siarki.
 - b. Bęś A., Rogalski L., Warmiński K. 2007. Aktywność respiracyjna popiołów lotnych w procesie rekultywacyjnym.
 - c. Rogalski L., Bęś A., Warmiński K. 2007. Emisja dwutlenku węgla do atmosfery z nadkładu kopalnianego w warunkach regulowanej temperatury.
- PK10.** Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Rtęć w środowisku – identyfikacja zagrożeń dla zdrowia człowieka”, Uniwersytet Gdański, Gdynia 9-11 maja 2007 r., sesja posterowa:
- a. Rogalski L., Warmiński K. 2007. Emisja rtęci do atmosfery z działalności antropogenicznej.
- PK11.** BSR InnoNet - Pilotprogramme on Innovationsystems and Clusters (PIC), “Pilot on bioenergy and biorefinery”. Processum Biorefinery Initiative AB, Workshop in Örnköldsvik, Sweden, 12-13 Nov 2008.
- a. Gołaszewski J., Stolarski M., Pierożyński B., Łuczyński M., Warmiński K. 2008. Baltic Eco-Energy Cluster – Green Alternative for the Northern Poland Macroregion.
- PK12.** XIV Meeting “Toxicology and Environmental Health”, Warszawa, 18-19 maja 2009 r.

- PK13.** III Międzynarodowa Konferencja Naukowa nt. „Azot w środowisku przyrodniczym”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn 21-22 maja 2009 r., sesja posterowa:
- Warmiński K., Bęś A. Zmienność dobową stałych szybkości reakcji fotolizy NO₂ i utleniania NO w powietrzu atmosferycznym miasta Olsztyna.
- PK14.** II Pomorska Konferencja z cyklu „Jakość powietrza”, Politechnika Gdańska, Gdańsk-Sobieszewo 23-24.04.2009 r., sesja posterowa:
- Warmiński K. 2009. Niska emisja a jakość powietrza na przyległym terenie rekreacyjnym nad jeziorem Kortowskim w Olsztynie.
- PK15.** III Pomorska Konferencja z cyklu „Jakość powietrza”, Politechnika Gdańska, Gdańsk-Oliwa, 7-8.04.2011 r., sesja posterowa:
- Warmiński K., Bęś A. 2011. Warunki meteorologiczne w okresie podwyższonych stężeń ozonu na styku terenu miejskiego z ekosystemem leśnym.
 - Warmiński K., Bęś A. 2011. Koncepcja budowy fluorescencyjnego biosensora ozonu i innych gazów fitotoksycznych z jednokomórkowymi glonami w roli receptora.
- PK16.** The 4th International Environmental Best Practices Conference “Biorefinery – Biobased Value Chains and Sustainable Development”. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn 8-12 September 2013, Poster Session:
- Warmiński K., Bęś A., Stolarski M.J. 2013. Sequestration of soil carbon in perennial energy crop plantations.
- PK17.** IV Krajowa Konferencja Bioindykacyjna „Praktyczne wykorzystanie systemów bioindykacyjnych do oceny jakości i toksyczności środowiska i substancji chemicznych”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn, 28-30 maja 2014 r., sesja posterowa:
- Bęś A., Warmiński K., Błaszczok A. 2014. Reakcja *Heterocypris incongruens* na zanieczyszczenia gleb olejem napędowym.
 - Bęś A., Astel A., Warmiński K., Perliński P. 2014. Badania pilotażowe toksyczności pyłu zawieszonego PM10.
- PK18.** 30th Annual Meeting AAIC “Pathway to Commercialization of Industrial Crops” London, Ontario, Canada, 23-26.09.2018.
- Krzyżaniak M., Stolarski M.J., Warmiński K. 2018. Life cycle assessment of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* Rusby L.) production with different fertilization options.
- PK19.** 43. Międzynarodowe Seminarium Naukowo-Techniczne „Chemistry for Agriculture”, Karpacz, 25-28 listopada 2018 r., sesja posterowa:
- Krzyżaniak M., Stolarski M.J., Warmiński K. 2018. Ocena cyklu życia produkcji topoli: wpływ różnych metod nawożenia.
- PK20.** The 6th International Environmental Best Practices Conference “Sustainability schemes for bio-based products in the framework of the circular bioeconomy”. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn 23-26 September 2019, Poster Session:
- Krzyżaniak M., Stolarski M.J., Warmiński K. 2019. Life cycle assessment of short rotation willow production – a review.
- PK21.** Baltic Bioeconomy Days, 10-12.03.2020, Rostock, Germany.
- Stolarski M.J., Warmiński K., Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Akincza M. Mapping biomass value chains for improved sustainable energy use in the Baltic Sea Region.
- PK22.** 32th Annual Meeting AAIC “Industrial crops and products unlocking the potential of bioeconomy”, Hybrid Conference, Bologna, 5-8 September 2021.
- Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Warmiński K. 2021. Short rotation woody crops as a source of bioactive compounds.
 - Krzyżaniak M., Stolarski M.J., Warmiński K., Olba-Zięty E., Rój E., Tyśkiewicz K. 2021. Life cycle assessment of supercritical extract obtained from poplar biomass.
 - Olba-Zięty E., Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M., Warmiński K., Rój E., Tyśkiewicz K., Łuczyński M. 2021. Economic analysis of the production of supercritical extract containing bioactive substances from poplar.
- PK23.** Transnational Hybrid Conference “Unlocking the Potential of Bio-based Value Chains in the Baltic Sea Region”, BalticBiomass4Value, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, 20-21 October 2021, Poster Session:

- a. Warmiński K., Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. 2021. Bioactive substances in bark and wood energy value of ten willow genotypes.
 - b. Olba-Zięty E., Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Warmiński K. 2021. Willow Cultivation as Feedstock for Bioenergy External Production Cost.
 - c. Stachowicz P., Stolarski M.J., Warmiński K., Krzyżaniak M., Olba-Zięty E. 2021. Is heating a detached house with solid biomass for 12 years cheaper than heating with fossil fuels?
- PK24.** World Sustainable Energy Days 2023 in Wels, Austria; 28.02.-03.04.2023 (poster oraz abstract w conference proceedings):
1. Stolarski M.J., Stachowicz P., Warmiński K., Krzyżaniak M., Olba-Zięty E., Dudzic P. 2023. Perennial industrial crops pellets: Impact of biomass type and pre-treatment.

8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.

❖ *Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

1. Konferencja Naukowa (krajowa) pt. „Środki ochrony roślin – środowisko, żywność, zdrowie człowieka”; organizatorzy: Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Warmińsko-Mazurski Urząd Wojewódzki, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Olsztynie, Bank Ochrony Środowiska; Olsztyn 16-17 listopada 2000 r. – członek komitetu organizacyjnego.

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora*

2. Transnational Hybrid Conference “Unlocking the Potential of Bio-based Value Chains in the Baltic Sea Region”, BalticBiomass4Value, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, 20-21 October 2021 – członek komitetu organizacyjnego.

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

❖ *Projekty zrealizowane przed uzyskaniem stopnia doktora:*

- Projekt 1.** Projekt krajowy promotorski pt. „Poziom i jakość plonu rzepaku jarego w warunkach zróżnicowanej ochrony”. KBN, 2002-2003, kierownik projektu: prof. dr hab. Danuta Murawa. Pełniona funkcja w projekcie: wykonawca, doktorant (załącznik nr 5).

❖ *Projekty zrealizowane – po uzyskaniu stopnia doktora*

- Projekt 2.** Projekt badawczy NCN nr N305 039 32/1677 pt. „Wrażliwość wybranych roślin wyższych i porostów na zanieczyszczenie powietrza ozonem i formaldehydem”. Kierownik projektu: prof. dr hab. Leszek Rogalski. Lata realizacji: 2007-2010. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca (załącznik nr 5).

Projekt 3. Projekt badawczy MNiSW/NCN nr N N305 162539 pt. „Głony jako potencjalny składnik warstwy receptorowej biosensorów ozonu i innych gazów fitotoksycznych”. Lata realizacji: 2010-2013. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: kierownik projektu (załącznik nr 5).

Projekt 4. Projekt krajowy NCBiR nr SP/E/4/65786/10 – Strategiczny Program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, Zadanie nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”. Podetap 30-4.1.D Sekwestracja węgla i emisja gazów cieplarnianych w różnych systemach produkcji biomasy i pozyskiwania biogazu. Podetap 30-4.3.F Bilans obiegu węgla i gazów cieplarnianych w produkcji i pozyskaniu biomasy. Lata realizacji: 2010-2015. Koordynator zespołu UWM: prof. dr hab. Janusz Gołaszewski. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca – kierownik podetapu 30-4.3.F (załącznik nr 5).

Projekt 5. Projekt krajowy NCBR pt. „Bioprodukty z biomasy lignocelulozowej pozyskanej z gruntów marginalnych w celu wypełnienia luki obecnej w narodowej biogospodarce” (BIOmagic), Projekt zrealizowany w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” – BIOSTRATEG III, No. BIOSTRATEG3/344253/2/NCBR/2017. W projekt zaangażowanych było 7 krajowych partnerów, lata realizacji 2017-2021. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca (załącznik nr 5).

Projekt 6. Projekt międzynarodowy pt. „Unlocking the Potential of Bio-based Value Chains in the Baltic Sea Region” (BalticBiomass4Value) w ramach programu Interreg Baltic Sea Region Programme, nr projector: #R095. W projekt zaangażowanych było 17 partnerów z 8 państw (Litwa, Łotwa, Estonia, Polska, Niemcy, Norwegia, Szwecja, Rosja), lata realizacji 2019-2021. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca (załącznik nr 5).

❖ *Projekty będące w trakcie realizacji – po uzyskaniu stopnia doktora*

Projekt 7. Projekt międzynarodowy pt. „Developing intercropping systems with camelina to increase the yield and quality parameters of local underutilized crops” (SCOOP), realizowany w ramach programu UE Era-Net Core Organic i NCBR. W projekt zaangażowanych jest 6 partnerów z 4 państw (Polska, Włochy, Bułgaria, Turcja), lata realizacji 2021-2024. Kierownik projektu: dr hab. inż. Michał Krzyżaniak, prof. UWM. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca (załącznik nr 5).

Projekt 8. Projekt międzynarodowy pt. „Growth performance, chemical composition and valorisation of residues of yellow mealworm fed with pretreated lignocellulosic biomasses” (2GenBug), realizowany w ramach współpracy bilateralnej NCN – Opus LAP. W projekt zaangażowanych jest UWM i Hochschule Offenburg (Niemcy), lata realizacji 2022-2024. Kierownik projektu: dr hab. inż. Michał Krzyżaniak, prof. UWM. Pełniona funkcja habilitanta w projekcie: wykonawca, kierownik zadania 3 (załącznik nr 5).

10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.

- Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej – członek Zarządu Głównego w V Kadencji (2004-2008). Obecnie – członek bez funkcji.

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

❖ *Po uzyskaniu stopnia doktora*

Staż 1. Staż dydaktyczny w Instytucie Biologii i Ochrony Środowiska Akademii Pomorskiej w Słupsku, w ramach projektu pt. "Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UWM w Olsztynie", nr um. UDA-POKL.04.01.01-00-095/10-01; Zadanie XV Organizacja staży w wiodących ośrodkach akademickich i naukowo-badawczych dla kardy dydaktycznej; Program Operacyjny Kapitał Ludzki. UE, poddziałanie 4.1.1. Termin: 03.11.2014–24.11.2014 r., czas trwania: 3 tygodnie, charakter stażu: dydaktyczny (załącznik nr 5).

Staż 2. Staż naukowy w Zakładzie Ekstrakcji Nadkrytycznej Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Nowych Syntez Chemicznych, Puławy. Organizacja stażu odbyła się w ramach projektu pt. "Program rozwojowy Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie", nr POWR.03.05.00-00-Z310/17; Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój, UE. Natomiast badania powiązane były z projektem BIOMagic (pkt. II.9, projekt nr 5). Termin: 02.09.2019-02.12.2019 r., czas trwania: 3 miesiące, charakter stażu: naukowy (załącznik nr 5).

12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).

- A. *Climate* (CiteScore 4.7), members of the Reviewer Board. MDPI, from 2021, https://www.mdpi.com/journal/climate/submission_reviewers
- B. *Frontiers in Chemistry* (IF 5.545, CiteScore 6.6), Review Editor for section *Green and Sustainable Chemistry*. Frontiers Media SA, from 2022, <https://loop.frontiersin.org/people/1066663/overview>

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

Kilkadziesiąt prac zrecenzowanych dla czasopism takich jak:

- A. Czasopisma zagraniczne o zasięgu międzynarodowym (tytuł, wydawca, IF/CiteScore):
 - *Journal of Cleaner Production* – Elsevier, IF 11.072

- *Environmental Pollution* – Elsevier, IF 9.988
- *Industrial Crops and Products* – Elsevier, IF 6.449
- *Cleaner Engineering and Technology* – Elsevier, CiteScore 0.9
- *Exposure and Health* – Springer, IF 8.835
- *BioEnergy Research* – Springer, IF 3.852
- *SN Applied Sciences* – Springer
- *Agronomy Research* – Estonian University of Life Sciences, CiteScore 1.6
- *Journal of Forest Science* – Czech Academy of Agricultural Sciences.
- *Frontiers in Chemistry* – Frontiers Media SA, IF 5.545
- *Climate* – MDPI, CiteScore 4.7
- *Atmosphere* – MDPI, IF 3.110
- *Energies* – MDPI, IF 3.252
- *Fuels* – MDPI
- *International Journal of Environmental Research and Public Health* – MDPI, IF 4.614, od marca 2023 r. IF 0.000, CiteScore 4.5
- *Sustainability* – MDPI, IF 3.889
- *Antioxidants* – MDPI, IF 7.675
- *Remote Sensing* – MDPI, IF 5.349.

B. Czasopismo krajowe o zasięgu międzynarodowym:

- *Journal of Elementology*, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, IF 0,923.

14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.

A. Zintegrowany Program Operacyjny Rozwoju Regionalnego, Unia Europejska, 2004–2006:

- uczestnik stażu technologicznego scharakteryzowanego w punkcie III.2 A.; okres realizacji: 2006 r. (załącznik nr 5).

B. Program Operacyjny Kapitał Ludzki (POKL), Europejski Fundusz Społeczny UE:

- koordynator projektu i współautor wniosku o dofinansowanie projektu pt. „Kierunek zamawiany receptą na najlepszych ekspertów ochrony środowiska”, nr projektu POKL.04.01.02-00-114/10, Priorytet IV Szkolnictwo wyższe i nauka, Działanie 4.1 Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 4.1.2 Zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy; wartość projektu: 8 360 219 zł, okres realizacji: 2010-2015 (załącznik nr 5);
- opracowanie programu i prowadzenie szkolenia laboratoryjno-terenowego dla studentów kierunku ochrona środowiska, w ramach projektu pt. „Kierunek zamawiany ochrona środowiska to Umiejętności, Wiedza, Możliwości”, POKL, Priorytet IV, Działanie 4.1, Poddziałanie 4.1.2.; okres realizacji: 2015 r. (załącznik nr 5);
- uczestnik stażu dydaktycznego scharakteryzowanego w punkcie II.11 (staż 1); okres realizacji: 2015 r. (załącznik nr 5).

C. Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (POWER), Europejski Fundusz Społeczny UE:

- uczestnik stażu naukowego scharakteryzowanego w punkcie II.11 (staż 2); okres realizacji: 2019 r. (załącznik nr 5);
- opracowanie programu i prowadzenie szkolenia laboratoryjno-terenowego dla studentów kierunku ochrona środowiska, rolnictwo oraz leśnictwo, w ramach projektu pt. „Program Rozwojowy Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie”, nr projektu POWR. 03.05.00-00-Z310/17; okres realizacji: 2019 r. (załącznik nr 5);
- beneficjent dwóch kursów (wykorzystania menedżera bibliografii; grafiki komputerowej) w ramach ww. projektu; okres realizacji: 2019 r.

D. Program Unii Europejskiej Interreg Baltic Sea Region – udział w projekcie międzynarodowym BalticBiomass4Value scharakteryzowanym w punkcie II. 9 (projekt 6); okres realizacji: 2019-2021 (załącznik nr 5);

E. Program Unii Europejskiej Era-Net Core Organic – udział w projekcie międzynarodowym SCOOP scharakteryzowanym w punkcie II. 9 (projekt 7); okres realizacji: 2021-2024 (załącznik nr 5).

15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9.

—

16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.

—

III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

1. Wykaz dorobku technologicznego.

—

2. Współpraca z sektorem gospodarczym.

- A. Staż technologiczny w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. w Olsztynie zrealizowany w ramach projektu pt. „Regionalny transfer wiedzy – Staże pracowników i absolwentów w firmach”, Zintegrowany Program Rozwoju Regionalnego, UE, czas trwania 1 miesiąc, rok realizacji: 2006 r. (załącznik nr 5).
- B. Współpraca z przedsiębiorstwami i rolnikami realizowana była i jest w ramach projektów krajowych (projekty nr 4 i 5) oraz międzynarodowych (nr 6 i 7). Współpraca dotyczy zwłaszcza takich zagadnień badawczych jak:
- technologia zbioru i logistyka biomasy oraz opracowanie bioproduktu weterynaryjnego wytwarzanego z biomasy lignocelulozowej (projekt nr 5, *BIOMagic*);

- wytwarzania i oceny środowiskowej, ekonomicznej i energetycznej różnych źródeł bioenergii (projekty nr 4, *Program Strategiczny...* oraz nr 6, *BalticBiomass4Value*);
 - współzrędną uprawy lnianki z innymi gatunkami roślin w systemie rolnictwa ekologicznego (projekt nr 7, *SCOOP*).
- 3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych.**
-
- 4. Wykaz wdrożonych technologii.**
-
- 5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.**
- A.** Interpretacja wyników pomiarów stężeń zanieczyszczeń w gazach odlotowych kotłowni Warmińsko-Mazurskiego Oddziału Straży Granicznej w Kętrzynie, 2008.
- B.** Biegły sądowy *ad hoc*; Sąd Okręgowy w Olsztynie – ekspertyza dot. uciążliwości związanej z zanieczyszczeniem powietrza oraz hałasem przemysłowym, 2013.
- B.** Ekspertyzy zlecane przez przedsiębiorców dotyczące zanieczyszczeń powietrza zewnętrznego oraz wewnętrznego (usługi badawcze) – kierownik tematu gospodarczego w UWM w Olsztynie pt. „Ekspertyzy środowiskowe oraz usługi analityczno-pomiarowe”, Nr 30.690.013-500, lata realizacji: 2015-2023 (załącznik nr 5). Wybrane tematy ekspertyz:
- ocena oddziaływania na środowisko planowanej inwestycji budowy budynków inwentarskich chlewni wraz z analizą skumulowanego oddziaływania na jakość powietrza planowanej tuczarni i istniejącej chlewni oraz ekspertyza w zakresie emisji hałasu wentylatorów chlewni – 3 ekspertyzy (*dane lokalizacyjne i adresowe zlecniodawcy zastrzeżone*);
 - oznaczanie stężenia chloru (Cl₂) i wilgotności powietrza pomieszczeń technicznych Wodnego Centrum Rekreacyjno-Sportowego (*dane lokalizacyjne i adresowe zlecniodawcy zastrzeżone*).
- 6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych.**
- Członek eksperckiej grupy roboczej ds. przygotowania projektów uchwał w sprawie wprowadzania ograniczeń i zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw na terenie województwa warmińsko-mazurskiego (tzw. uchwał „antysmogowych”) – powołanie na podstawie zarządzenia Marszałka Województwa Warmińsko-Mazurskiego Nr 109/2021 z dnia 17 maja 2021 roku. (załącznik nr 5).
 - Ekspert Polskiej Komisji Akredytacyjnej – zespół nauk rolniczych, dyscyplina: rolnictwo i ogrodnictwo – od 2021 roku: <https://www.pka.edu.pl/lista-ekspertow-i-sekretarzy/>
 - Członek zespołu ds. realizacji celów zrównoważonego rozwoju Green Team, przy Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie – powołanie na podstawie decyzji Nr

97/2021 Rektora Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 14 października 2021 roku. (załącznik nr 5).

- Członek zespołu ds. opracowania strategii aspiracyjnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie – pismo Rektora z dnia 25 października 2021 r. (załącznik nr 5).

7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.

Nie dotyczy

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

Stan na dzień: 25.03.2023 r.

1. **Impact Factor** (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).

Sumaryczny IF (zgodnie z rokiem opublikowania) = **107.471**

Średni IF = 4,299 (na jedną publikację w czasopismach z JCR)

Łączna liczba punktów publikacji habilitanta (MNiSW, MEiN) = 2955 pkt.

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

Baza danych	Liczba cytowań			Liczba publikacji w bazie
	ogółem	bez autocytowań	średnia (na 1 pracę)	
Web of Science	361	332	14,480	25
Scopus	393	368	16,375	24

3. Indeks Hirscha.

Baza danych	Indeks Hirscha
Web of Science	13
Scopus	15