

Dr inż. Alina Kowalczyk-Juško  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Wydział Inżynierii Produkcji  
Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

## **Autoreferat**

**przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,  
dydaktycznych i popularyzujących naukę**

**Lublin, 2019**

## Spis treści

|  | Strona |
|--|--------|
| 1. Imię i nazwisko .....   | 3      |
| 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe .....   | 3      |
| 3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych .....  | 3      |
| 4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r.<br>o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.<br>2016, poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311) ..... | 4      |
| a) Tytuł osiągnięcia naukowego .....   | 4      |
| b) Wykaz publikacji składających się na osiągnięcie naukowe .....  | 4      |
| c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich<br>ewentualnego wykorzystania .....  | 6      |
| 4.1. Wprowadzenie .....  | 6      |
| 4.2. Cel badań stanowiących osiągnięcie naukowe .....  | 8      |
| 4.3. Omówienie wyników badań z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.   | 9      |
| 4.4. Wskazanie najważniejszych osiągnięć, zawartych w cyklu publikacji.....  | 20     |
| 4.5. Omówienie możliwości wykorzystania osiągniętych wyników badań .....   | 22     |
| 4.6. Literatura .....  | 23     |
| 5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze .....  | 27     |
| 5.1. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora .....  | 27     |
| 5.2. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia naukowego doktora .....  | 28     |
| 5.3. Współpraca krajowa i międzynarodowa .....   | 37     |
| 5.4. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska .....  | 38     |
| 6. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego .....  | 39     |

### **1. Imię i nazwisko:**

Alina Kowalczyk-Juško

### **2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

- 2010 dyplom ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie Public Relations w badaniach naukowych, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
- 2003 dyplom ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie zarządzania ochroną środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska
- 2001 doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii – uprawa roślin, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Rolniczy  
Rozprawa doktorska pt. *„Wpływ różnych dawek i form nawozów azotowych na cechy biometryczne, plonowanie, jakość oraz skład chemiczny tytoniu papierosowego jasnego”*.  
Promotor: prof. dr hab. Bogdan Kościk
- 1997 dyplom ukończenia studiów podyplomowych w zakresie przygotowania pedagogicznego, Akademia Rolnicza w Lublinie
- 1996 magister inżynier rolnictwa, Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Rolniczy, kierunek rolnictwo,  
Praca magisterska pt. *„Ocena wykorzystania wartości hodowlanej buhajów w lubelskim okręgu hodowlanym”*.  
Promotor: prof. dr hab. Danuta Borkowska

### **3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych**

- 1996-2002 asystent – Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Rolniczy, Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu
- 2002-2015 adiunkt – Akademia Rolnicza w Lublinie (od 2008 r. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Rolniczy (od 2006 r. Wydział Nauk Rolniczych, zaś od 2014 r. Wydział Biogospodarki), Katedra Produkcji Roślinnej i Agrobiznesu
- 2015- obecnie adiunkt – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Zakład Inżynierii Ekologicznej

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2016, poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)**

**a) Tytuł osiągnięcia naukowego**

Osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę do złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego, stanowi cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych, zatytułowany:

**„Wykorzystanie biomasy wybranych gatunków roślin na cele energetyczne”**

**b) Wykaz publikacji składających się na osiągnięcie naukowe**

A1. **Kowalczyk-Juśko A.**, Kościk B. 2004: Produkcja biomasy miskanta cukrowego i spartiny preriowej w zróżnicowanych warunkach glebowych oraz możliwości jej konwersji na energię. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 234, 213-218.

**4 pkt.** MNiSW

*Mój udział oceniam na 75%.*

A2. **Kowalczyk-Juśko A.** 2010: Badania nad energetycznym wykorzystaniem wybranych gatunków roślin wieloletnich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 556, 421-427.

**6 pkt.** MNiSW

A3. **Kowalczyk-Juśko A.** 2010: Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasa spartiny preriowej. Problemy Inżynierii Rolniczej, 4(70), 69-77

**6 pkt.** MNiSW

A4. **Kowalczyk-Juśko A.** 2013: Biometryczne i energetyczne parametry spartiny preriowej (*Spartina pectinata* Link.) w trzech pierwszych latach wegetacji. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2(80), 69-77.

**4 pkt.** MNiSW

A5. **Kowalczyk-Juśko A.**, Marczuk A., Dach J., Szmigielski M., Zarajczyk J., Józwiakowski K., Kowalczyk J., Andrejko D., Ślaska-Grzywna B., Leszczyński N. 2015: Termochemiczna i biochemiczna konwersja biomasy kukurydzy na cele energetyczne. Przemysł Chemiczny, 94/2, 178-181. DOI: 10.15199/62.2015.2.9

**15 pkt.** MNiSW, **IF = 0,367**

*Mój udział oceniam na 55%.*

A6. **Kowalczyk-Juśko A.**, Kościk B., Józwiakowski K., Marczuk A., Zarajczyk J., Kowalczyk J., Szmigielski M., Sagan A. 2015: Efekty biochemicznej i termochemicznej konwersji sorga (*Sorghum bicolor* Moench.) na energię użytkową. Przemysł Chemiczny, 94/10, 1838-1840. DOI: 10.15199/62.2015.10.39

**15 pkt.** MNiSW, **IF = 0,367**

*Mój udział oceniam na 50%.*

A7. **Kowalczyk-Juśko A.** 2016: Energy properties of multiflora rose (*Rosa multiflora* Thunb.) and environmental benefits from the combustion of its biomass. Journal of Ecological Engineering, 17, 5, 216-220. DOI: 10.12911/22998993/65797

**12 pkt. MNiSW**

A8. **Kowalczyk-Juśko A.** 2016: Skład chemiczny i parametry energetyczne biomasy miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus*) wykorzystywanej na cele energetyczne. Przemysł Chemiczny, 95/11, 2326-2329. DOI: 10.15199/62.2016.11.37

**15 pkt. MNiSW, IF = 0,385**

A9. **Kowalczyk-Juśko A.** 2017: The influence of the ash from the biomass on the power boiler pollution. Journal of Ecological Engineering, 18, 6, 200-204. DOI: 12911/22998993/76897

**12 pkt. MNiSW**

**Łącznie:**

– **Impact Factor – 1,119\***

– **Punkty MNiSW - 89\* (w tym udział własny 73,75 pkt., 86,67%)**

\*obowiązujący w roku wydania publikacji.

Oświadczenia współautorów prac, określające ich indywidualny wkład w powstanie publikacji - **Załącznik 4**; pełny tekst publikacji – **Załącznik 5**.

## **c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

### **4.1. Wprowadzenie**

Globalny wzrost zapotrzebowania na energię, wynikający ze zwiększania populacji ludzi, poprawy standardu życia, wzrostu energochłonności produkcji żywności i artykułów codziennego użytku, powoduje szybkie wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnych, na których oparta jest współczesna energetyka. Równocześnie rosnące zanieczyszczenie środowiska, m.in. przez procesy energetyczne, determinuje konieczność jego ochrony [Ciechanowicz, Szczukowski 2006; Gradziuk i in. 2003]. Zaspokojenie potrzeb energetycznych społeczeństwa, przy mniejszym niż obecny wpływie na środowisko, mogą zapewnić odnawialne źródła energii (OZE), co zauważono już w drugiej połowie XX wieku [Wiśniewski i in. 1995]. Działania formalne, zmierzające do globalnego ograniczenia zanieczyszczenia środowiska, zostały zapoczątkowane w 1969 r. przez ogłoszenie raportu Sekretarza Generalnego ONZ U Thanta „The problems of human environment” (znanego w Polsce pt. „Człowiek i jego środowisko”) [U Thant 1970]. Efektem rozważań nad wpływem człowieka na środowisko było zwołanie światowej konferencji w Sztokholmie w 1972 r., na której wypracowano zręby długotrwałej polityki międzynarodowej w zakresie ochrony środowiska. Kolejne konferencje klimatyczne, rezolucje i protokoły, podpisane przez wiele państw i organizacji, nadają działaniom na rzecz ochrony środowiska charakter zorganizowany i pozwalają na osiągnięcie kolejnych celów, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. OZE bardzo dobrze wpisują się w ideę rozwoju zrównoważonego, gdyż pozwalają na zaspokojenie potrzeb gospodarczych przy minimalnym wpływie na środowisko, co pozwala na harmonijny rozwój społeczeństw i wysoki standard życia [Rada... 2006].

Znaczenie OZE rośnie wraz ze zmniejszaniem się zasobów kopalnych surowców energetycznych oraz pogarszaniem stanu środowiska. Do wykorzystania OZE zobowiązują też międzynarodowe umowy, z których wynika obowiązek zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w łącznym jej zużyciu w Polsce i całej UE [Directive 2009/28/EC]. Spośród wszystkich OZE (energii wiatru, wody, słońca, wnętrza Ziemi oraz zawartej w biomasie), na szczególną uwagę zasługuje biomasa, która stopniowo zastępuje węgiel kamienny i brunatny w procesach termochemicznych, zaś po odpowiednim przetworzeniu stanowi zamiennik paliw ropopochodnych i gazu ziemnego. Wypełnienie zobowiązań dotyczących udziału OZE w łącznym wolumenie wytwarzanej energii obecnie realizowane jest w dużej mierze poprzez spalanie i współspalanie biomasy drzewnej pochodzącej z leśnictwa,

uzupełnianej różnymi surowcami importowanymi z różnych krajów, a nawet kontynentów [Gradziuk, Gradziuk 2016]. Zakłada się stopniowe zmniejszanie współspalania biomasy leśnej i zastępowanie jej agrobiomasą [Celińska, 2009]. Konstrukcja przepisów prawa zachęca, a nawet wręcz obliuguje wytwórców energii do wykorzystania biomasy, szczególnie pochodzenia rolniczego [Rozporządzenie... 2012].

W okresie rozpoczęcia badań własnych, polskie rolnictwo dysponowało małą liczbą gatunków, które z powodzeniem można było uprawiać w celu pozyskania biomasy dla energetyki. Najlepiej rozpoznany gatunkiem była wierzba wiciowa, głównie dzięki wieloletnim badaniom prowadzonym przez UWM w Olsztynie [Stolarski i in. 2013; Szczukowski i in. 2005]. Zaawansowany był też stan badań nad ślazowcem pensylwańskim [Borkowska, Styk 1997, 2006; Piekarski 2011]. Zróżnicowanie warunków glebowo-klimatycznych kraju, niejednakowe wyposażenie gospodarstw rolnych w maszyny i urządzenia oraz różne potrzeby potencjalnych odbiorców biomasy, wskazywały na potrzebę zwiększania różnorodności gatunków uprawianych na cele energetyczne. Jednak brak było rzetelnych informacji, dotyczących produktywności innych gatunków roślin przydatnych dla energetyki, jak również składu i parametrów energetycznych ich biomasy.

Biomasa w Polsce wykorzystywana jest głównie w postaci paliw stałych, które w 2017 r. stanowiły 67,87% OZE [Energia... 2018]. Dominującym procesem stosowanym zarówno w energetyce zawodowej, jak też w kotłach o małej mocy, jest spalanie. Stosowanie biomasy w kotłach rusztowych wiąże się z obniżaniem sprawności tych instalacji ze względu na specyficzny skład tego surowca, znacznie różniący się od węgla kamiennego, do którego były dostosowywane kotły. Z kolei spalanie biomasy w kotłach fluidalnych niesie ze sobą problemy z przygotowaniem paliwa, czyli rozdrobieniem do parametrów wymaganych dla tych urządzeń [Gołos, Kaliszewski 2013]. Pozostałe procesy termochemiczne są na obecnym poziomie technologicznym relatywnie drogie, jednak obserwuje się ich dynamiczny rozwój [Frączek i in. 2011; Lou, Zhou 2012]. Procesy termochemiczne (spalanie, piroliza, czy zgazowanie) to nie jedyne metody konwersji energii chemicznej biomasy na energię użytkową. Również na drodze biochemicznej możliwa jest ta zamiana, przy czym w ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się procesowi fermentacji metanowej. Pozwala on na wytworzenie biogazu, zawierającego głównie palny metan. Surowce do procesu prowadzonego w biogazowniach, stanowić mogą rośliny z upraw celowych, produkty uboczne, a także odpady o odpowiedniej zawartości materii organicznej [Myczko 2011, Podkówka i in. 2012].

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele danych opisujących parametry biomasy wykorzystywanej w procesach termochemicznych, dotyczących głównie drewna i gatunków roślin drzewiastych i krzewiastych (wierzba wiciowa, topola itp.) [Dzurenda i in. 2011; Kuś, Matyka 2010, Stolarski i in. 2013; Viana i in. 2012; Gołos, Kaliszewski 2013], a także słomy, która jest często wykorzystywana jako lokalnie dostępny surowiec opałowy [Edwards i in. 2005; Gradziuk 2015, Piechocki 2011]. Z kolei badania dotyczące substratów roślinnych do produkcji biogazu koncentrują się głównie na kukurydzy, powszechnie stosowanej w niemieckich biogazowniach rolniczych, z których czerpały wzorce instalacje powstające w pierwszych latach rozwoju technologii fermentacji w Polsce [Gostomczyk 2017; Podkówka i in. 2012]. Natomiast badania nad wykorzystaniem biomasy mniej znanych gatunków roślin, w tym skutków ich konwersji na energię w kontekście technicznym i środowiskowym, były niepełne. Przyczyniło się to do podjęcia badań nad wpływem spalania biomasy na środowisko i możliwości wykorzystania surowców roślinnych w różnych technologiach energetycznych, w celu weryfikacji różnych poglądów na ten temat.

Po analizie dostępnej literatury i ocenie potrzeb użytkowych, został sformułowany problem badawczy w postaci pytania: „czy parametry energetyczne biomasy mało znanych w Polsce gatunków roślin pozwalają na jej wykorzystanie w procesach termochemicznych i biochemicznych oraz jakie są skutki środowiskowe tej działalności?”

#### **4.2. Cel badań stanowiących osiągnięcie naukowe**

Aby rozwiązać problem badawczy zostały przeprowadzone badania polowe i laboratoryjne. Głównym celem badań, stanowiących moje osiągnięcie naukowe była ocena biomasy wybranych gatunków roślin wieloletnich i jednorocznych pod kątem parametrów istotnych z punktu widzenia energetyki i środowiska. Cel główny osiągnięto dzięki realizacji celów cząstkowych, które obejmują:

- wykazanie możliwości upowszechnienia uprawy niektórych gatunków roślin o cechach szczególnie korzystnych z punktu widzenia energetyki oraz określenie ich parametrów energetycznych;
- określenie wpływu termochemicznego wykorzystania biomasy na urządzenia grzewcze;
- określenie przydatności biomasy wybranych gatunków roślin do produkcji biogazu;
- ocenę skutków środowiskowych energetycznego wykorzystania biomasy.

Celem użytkowym przeprowadzonych badań było rozpoznanie wymagań, potencjału plonowania, cech użytkowych, składu chemicznego i parametrów energetycznych mało znanych w Polsce gatunków roślin jednorocznych i wieloletnich, co pozwoli na



upowszechnienie ich uprawy i energetycznego wykorzystania w termochemicznych i biochemicznych procesach konwersji.

Obiektem badań była biomasa nadziemna wybranych gatunków roślin:

- jednorocznych: kukurydzy (*Zea mays* L.) i sorga cukrowego (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.);
- wieloletnich, w tym dwóch gatunków traw: miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* Maxim.) i spartiny preriowej (*Spartina pectinata* Bosc ex Link), dwóch bylin: ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) i słonecznika bulwiastego – topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) oraz krzewu – róży bezkolcowej (*Rosa multiflora* Thunb.).

Wieloletnie badania polowe były prowadzone na terenie woj. lubelskiego, głównie na polach Stacji Doświadczalnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, zlokalizowanej w Zamościu, a także na gruntach nie należących do Uczelni. Analizy parametrów energetycznych i składu popiołu zlecane były specjalistycznym laboratoriom: IBMER w Warszawie i Energopomiar w Gliwicach. Badania wydajności biogazu były przeprowadzone w Laboratorium Fermentacji Metanowej Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie, w reaktorze Biostat B-plus.

#### **4.3. Omówienie wyników badań z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego**

##### ***Wykazanie możliwości upowszechnienia uprawy niektórych gatunków roślin o cechach szczególnie korzystnych z punktu widzenia energetyki oraz określenie ich parametrów energetycznych***

Introdukcja nowych gatunków roślin na dany obszar powinna być poprzedzona badaniami, które wykażą ich przydatność, przystosowanie do danych warunków agroklimatycznych, wpływ na lokalny ekosystem i pozwolą opracować zasady ich agrotechniki. Jednym z aspektów badań, stanowiących moje osiągnięcie naukowe, było określenie plonu, cech biometrycznych i najważniejszych parametrów energetycznych biomasy wybranych gatunków roślin wieloletnich: miskanta cukrowego (publikacje **A1**, **A8**), spartiny preriowej (prace **A1**, **A3**, **A4**), ślazuwca pensylwańskiego i słonecznika bulwiastego – topinamburu (praca **A2**) oraz róży bezkolcowej (praca **A7**). W omawianym cyklu publikacji zwrócono uwagę na aspekty agrotechniczne uprawy roślin, które były w Polsce znane, jednak rzadko uprawiane (róża bezkolcowa, słonecznik bulwiasty, ślazuwiec), lub dopiero do uprawy

wprowadzane (miskant i spartina). Oceniano dostępność materiału rozmnożeniowego, reakcję roślin na warunki klimatyczne południowo-wschodniej Polski, odporność na patogeny i niekorzystne warunki glebowe, a także łatwość zakładania i prowadzenia plantacji. Wyniki badań pozwoliły na rozpoznanie możliwości uprawy w Polsce badanych roślin, ich potencjału plonowania i podstawowych parametrów energetycznych ich biomasy w kontekście wykorzystania w procesie spalania. Stwierdzono, że badane gatunki różnią się pod względem wymagań, technologii produkcji i parametrów uzyskanego surowca, co pozwala na wybór odpowiedniego gatunku dla danego gospodarstwa (dostosowanego do jego warunków glebowo-klimatycznych, parku maszynowego, powierzchni magazynowej, czy zasobów pracy) i odbiorcy biomasy (w zależności od sposobu przetwarzania na energię, wstępnego przygotowania itp.). Wyniki badań właściwości energetycznych gatunków wieloletnich, zawarte w pracy **A2** wskazują, że ilość energii chemicznej zawartej w średnim plonie biomasy pozyskanej z powierzchni 1 ha plantacji jest najwyższa w przypadku ślazuwca pensylwańskiego (262,8 GJ/ha), najniższa zaś w przypadku spartiny preriowej (177,4 GJ/ha). Najmniej atrakcyjnym gatunkiem okazała się róża bezkolcowa, której biomasa przez cały rok utrzymuje wysoką wilgotność, typową dla biomasy drzewnej (ok. 50%), co wiąże się z koniecznością dosuszania, a uprawa nastęrcza szereg problemów technicznych. Na duże zróżnicowanie parametrów energetycznych biomasy poszczególnych gatunków roślin zwracają uwagę Stolarski i in. [2008], wskazując też na wpływ terminu zbioru i warunków pogodowych, w jakich jest on przeprowadzany.

W badaniach szczególnie skupiono się na najmniej znanych gatunkach, jakimi były trawy o cyklu fotosyntezy C4: miskant i spartina. Oprócz charakterystyki ich właściwości, istotnych z agronomicznego punktu widzenia (wymagania, przystosowanie do warunków środowiska itp.), opisanych w pracy **A2**, oceniano możliwości ich uprawy na gruntach o zróżnicowanej jakości: od zasobnych gleb ilastych do suchych i ubogich gruntów piaszczystych (praca **A1**). Wieloletnie obserwacje i pomiary pozwoliły też na rozpoznanie przebiegu wegetacji roślin, ich budowy, sposobu krzewienia i innych charakterystycznych cech biologicznych. Spartina preriowa okazała się być trawą luźnokępową, dzięki czemu ryzyko jej niekontrolowanego rozprzestrzeniania się w środowisku jest relatywnie małe, w odróżnieniu od miskanta cukrowego, który silnie rozrasta się za pomocą długich, mocnych rozłogów, wypierając gatunki rodzime. Przynależność do rodziny *Gramineae* (*Poaceae*) sprawia, że do ich uprawy i zbioru można z powodzeniem wykorzystać maszyny stosowane w produkcji innych roślin rolniczych. Z kolei trwałość badanych gatunków traw (kilkanaście lat) znacznie przewyższa dotychczas uprawiane (2-4 lata). Potencjał plonu, określony

w doświadczeniu opisanym w pracy **A1** na poziomie  $1,2 \text{ kg/m}^2$  w przypadku miskanta i  $1,3 \text{ kg/m}^2$  spartiny, także okazał się wyższy, niż traw dotychczas uprawianych, takich jak np. kostrzewa trzcinowa, czy mozga trzcinowata, co może być efektem fotosyntezy typu C4 [Sawicki, Kościk 2003]. Na uwagę zasługuje fakt, że spartina jest bardziej odporna na niekorzystne warunki glebowe, niż miskant. Parametry biometryczne, takie jak wysokość roślin (średnio 147,3 cm), długość kwiatostanów (23,9 cm) i liści (76,7 cm), a także wielkość plonu nie były istotnie zależne od warunków glebowych, które kształtowały te same cechy miskanta w sposób istotny statystycznie. Z kolei miskant już w drugim roku uprawy nie wymagał odchwaszczania, dzięki intensywnemu krzewieniu rozłogowemu.

Szczegółowe badania nad parametrami energetycznymi biomasy spartiny preriowej, zawarte w artykule **A4**, wykazały jej przydatność do zastosowania w procesach termochemicznych, szczególnie w przypadku roślin starszych (trzeci rok wegetacji). Wprawdzie zawartość węgla, odpowiadającego w głównej mierze za ciepło spalania biomasy, nie przekraczała 50% w stanie suchym, a wilgotność robocza utrzymywała się powyżej 20% przez cały okres zimowy, przeznaczony do zbioru, to na korzyść tego surowca przemawiały: niska zawartość popiołu (4,1-5,9% s.m.), siarki (0,09-0,23% s.m.) i chloru (0,01-0,15% s.m.), odpowiednio w biomacie roślin trzyletnich i jednorocznych. Odniesienie uzyskanych wyników do norm obowiązujących w Niemczech i Austrii (DIN 51731 i ONORM M 7135) wskazało, że biomasa starszych roślin może być z powodzeniem wykorzystana do wyrobu peletów o jakości zbliżonej do granulatów drzewnych. Z kolei wyniki badań zawartych w pracy **A3** wskazują, że nawożenie azotem w ilości 60 kg/ha powoduje wzrost plonu spartiny preriowej z 7,74 Mg/ha do 9,69 Mg/ha. Zróżnicowanie częstotliwości zbioru (1-krotny zbiór po zahamowaniu wegetacji i zbiór 2-krotny) nie wpłynęło znacząco na plon spartiny preriowej. Rośliny zbierane latem, w stanie wegetatywnym, charakteryzowały się wyższą zawartością popiołu (5,05%) i siarki (0,135%), w porównaniu z biomasą zbieraną jednokrotnie zimą (odpowiednio 4,6 i 0,085%), co dowodzi, że zimowy zbiór jest bardziej korzystny. Również Stolarski i in. [2008] stwierdzili wysoką zawartość siarki w biomacie spartiny preriowej zbieranej jesienią, zaś wczesnowiosenny zbiór pozwolił na uzyskanie bardziej korzystnych parametrów.

Uzyskane wyniki badań mają duże znaczenie użytkowe. Zostały wykorzystane nie tylko do przygotowania artykułów naukowych, ale są też źródłem informacji praktycznych, kierowanych do potencjalnych plantatorów roślin energetycznych.

Pierwsze doświadczenia, omówione powyżej, stały się podstawą do ich rozszerzenia: powiększenia przedmiotu badań (liczby gatunków i ich trwałości – rośliny wieloletnie i jednoroczne) i zakresu analiz. Wyniki tych badań omówiono poniżej.

### ***Określenie wpływu termochemicznego wykorzystania biomasy na urządzenia grzewcze***

Wzrost zapotrzebowania ze strony energetyki na biomasę pochodzenia rolniczego (tzw. „agrobiomasę”), związany z rozwojem technologii OZE [Bocian i in. 2010] oraz wspomagany przepisami polskiego ustawodawstwa [Rozporządzenie... 2012], sprawił, że poszerzono zakres badań o kolejne gatunki roślin. Oprócz roślin wieloletnich, poddano ocenie biomasę gatunków jednorocznych, których produkcja może być szybciej dostosowana do zapotrzebowania rynku. Kukurydza i sorgo cukrowe, jako rośliny o cyklu fotosyntezy C<sub>4</sub>, charakteryzują się szczególnie dużym potencjałem plonowania, co w przypadku roślin energetycznych jest bardzo pożądane [Stolarski i in. 2008].

Oprócz doboru gatunków roślin, podjęte zostały też badania nad przydatnością biomasy do produkcji biogazu. Poszerzenie badań o kwestie związane z różnymi metodami konwersji energii chemicznej biomasy na energię użytkową, wiązało się z tworzeniem zespołów badawczych, złożonych ze specjalistów z macierzystej Uczelni, jak też innych jednostek naukowych, co pozwoliło na poddanie przedmiotu badań, jakim jest biomasa, specjalistycznym analizom, określającym jej właściwości i przydatność dla energetyki. W związku z tym część publikacji, wchodzących w skład omawianego zakresu osiągnięcia, została przygotowana w zespołach wieloautorskich (publikacje **A5**, **A6**).

Podstawę badań zawartych w tej części cyklu publikacji, stanowią doświadczenia polowe i laboratoryjne. Na roślinach uprawianych na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie przeprowadzono obserwacje i pomiary biometryczne oraz oceniano plony biomasy. Po osiągnięciu przez nie odpowiednich faz rozwojowych (w zależności od przeznaczenia do konwersji termochemicznej lub biochemicznej) przeprowadzono zbiór i wstępne przygotowanie biomasy. W przypadku badań nad przydatnością do procesów termochemicznych było to suszenie, zaś materiał poddawany analizie pod kątem wydajności biogazu był zakiszany. W części badań, dotyczących procesów termochemicznych, prowadzono pełne analizy parametrów energetycznych biomasy kukurydzy, sorga cukrowego i miskanta cukrowego. Oceniano wilgotność, zawartość substancji palnych i części lotnych, ciepło spalania, wartość opałową i zawartość pierwiastków na nie wpływających (C, H). Badano też udział składników niepożądanych: siarki i azotu (głównie w aspekcie emisji ich związków do atmosfery), a także popiołu

i chloru. Popiół poddawano analizie pierwiastkowej, co było podstawą oceny wpływu spalania biomasy poszczególnych gatunków roślin na urządzenia grzewcze. Na podstawie wyników badań własnych, wykorzystując stosowne wzory pochodzące z literatury [CoalTech 2007; Ściążko i in. 2007; Vassilev i in. 2014a; Viana i in. 2012], określono ryzyko występowania niekorzystnych zjawisk, jakie mogą mieć miejsce w kotłach, wskutek spalania biomasy. Obliczono wartość wskaźników osadzania zanieczyszczeń, spiekania, żużlowania, aglomeracji, topliwości, lepkości i in.

Biomasa jako paliwo znacząco różni się od węgla kamiennego, co jest podnoszone w literaturze przedmiotu [Gołos, Kaliszewski 2013; Monti i in. 2008; Van Loo, Koppejan 2008; Vassilev i in. 2014b], a także potwierdzone w badaniach własnych. W związku z faktem, że jej energetyczne zastosowanie jest relatywnie nowe, większość urządzeń grzewczych, zwłaszcza w energetyce zawodowej, była dostosowana do parametrów węgla. Zmiana paliwa na biomasowe nie pozostaje bez wpływu na kotły i ich elementy mające kontakt z popiołem, bądź z gazami powstającymi wskutek rozkładu termicznego biomasy i spalinami. Ilość i skład popiołu, ważne dla jednostek energetycznych, zależne są od sposobu przygotowania paliwa, techniki i warunków spalania oraz warunków środowiskowych i agrotechnicznych, a więc czynników kształtujących skład chemiczny biomasy [Vasiliev i in., 2014b]. Relacja pomiędzy tlenkami alkalicznymi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  i  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) a kwaśnymi ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{TiO}_2$ ), zawartymi w popiele z biomasy, charakteryzuje w dużym stopniu skłonność popiołu do tworzenia osadów. Wysoki udział tlenków zasadowych i chloru sprzyja z kolei korozji urządzeń energetycznych. Wysoka zawartość tlenków alkalicznych w popiele świadczy też o niebezpieczeństwie silnego odkładania się osadów na urządzeniach grzewczych.

W publikacjach **A5**, **A6**, **A8**, **A9** wykazano, że biomasa większości gatunków roślin określanych jako „energetyczne” charakteryzuje się zbliżoną wartością opałową (16-18 MJ/kg s.m.), jednak jej wpływ na urządzenia grzewcze może być różny. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że występuje bardzo duże zróżnicowanie składu popiołu z biomasy poszczególnych gatunków roślin. Wiąże się to z mniejszym lub większym ryzykiem zanieczyszczenia i uszkodzenia powierzchni urządzeń grzewczych (żużłowaniem, aglomeracją, osadzaniem, spiekaniem, korozją, erozją), co z kolei powoduje, że biomasy rolniczej nie można traktować w sposób jednorodny.

Analiza statystyczna potwierdziła, iż wśród badanych siedmiu gatunków roślin można wyróżnić trzy grupy gatunków o zbliżonym oddziaływaniu na urządzenia grzewcze. Najmniejsze ryzyko żużlowania wiąże się ze spalaniem traw wieloletnich, zaś największe ze

spalaniem bylin (topinamburu i ślazuca). Popiół traw jednorocznych (kukurydza i sorgo) wykazał średnią skłonność do osadzania się na urządzeniach grzewczych, podobnie jak róży bezkolcowej. Spalanie biomasy traw może wiązać się z ryzykiem erozji powierzchni ogrzewalnych ze względu na wysoką zawartość krzemionki (66,1 i 77,9% w popiele ze spartiny i miskanta, 35,2 i 35,4% z kukurydzy i sorga, podczas gdy popiół ze ślazuca, topinamburu i róży zawierał odpowiednio: 3,2, 6,8 i 6,7% SiO<sub>2</sub>). Z kolei spalanie słomy topinamburu zwiększa ryzyko korozji chlorkowej, co jest spowodowane niemal 20-krotnie wyższą zawartością chloru w popiele w porównaniu z trawami wieloletnimi (odpowiednio 4,74 i 0,24-0,25%).

Zastosowanie do oceny wpływu biomasy na urządzenia grzewcze uniwersalnych wskaźników, używanych w odniesieniu do różnych surowców energetycznych [Viana i in. 2012] pozwoliło na porównanie uzyskanych wyników badań z danymi prezentowanymi przez innych autorów, bez względu na rodzaj biomasy i warunki jej pozyskania. Jest to istotne z technicznego punktu widzenia, gdyż biomasa jest przedmiotem obrotu międzynarodowego, o czym świadczy fakt, że w strukturze zużycia biomasy w polskiej energetyce zawodowej w 2014 r. niemal 50% stanowił surowiec importowany [Gradziuk, Gradziuk 2015].

### ***Określenie przydatności biomasy wybranych gatunków roślin do produkcji biogazu***

Oprócz technologii termochemicznych (spalania, zgazowania i pirolizy), powoli rozwija się w Polsce produkcja biopaliwa gazowego, jakim jest biogaz, wytwarzany z biomasy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Fermentacja metanowa, której produktem jest m.in. palny metan, jest powszechna w środowisku, zaś jako proces energetyczny dynamicznie rozwija się w wielu krajach Europy, szczególnie w Niemczech [Gostomczyk 2017]. Spośród substratów roślinnych w biogazowniach rolniczych najczęściej wykorzystywana jest kukurydza, ze względu na wielkość plonu, łatwość uprawy i wstępnego przygotowania (rozdrabnianie, zakiszanie) oraz skład chemiczny sprzyjający wytwarzaniu biometanu [Myczko 2011; Podkówka i in. 2012]. Technologia uprawy kukurydzy na cele produkcji biogazu nie różni się istotnie od tradycyjnie stosowanej w uprawach pastewnych. Ważnym szczegółem agrotechnicznym jest termin zbioru kukurydzy, gdyż zbyt wczesny zbiór wiąże się z małą zawartością suchej masy, zaś jego nadmierne opóźnienie powoduje wzrost zawartości trudno rozkładalnych frakcji włókna. Przydatność do produkcji biogazu kukurydzy zbieranej w trzech różnych fazach dojrzałości ziarna, stanowiła przedmiot badań, opublikowanych w pracy **A5**. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają, znaną z literatury [Podkówka i in. 2012], wysoką wydajność biogazu z kiszonki kukurydzy,

o zawartości biometanu 48,6-52,4%. Stwierdzono spadek wydajności biogazu wraz z osiągnięciem kolejnych stadiów dojrzałości ziarna kukurydzy: z 730,5 l/kg s.m.o. z kiszonki sporządzonej z roślin zbieranych w fazie dojrzałości mleczno-woskowej, przez 580,8 l/kg s.m.o. w fazie wioskowej, do 490,0 l/kg s.m.o. po osiągnięciu przez rośliny fazy pełnej dojrzałości ziarna. Stwierdzone zmniejszenie wydajności biogazu o niemal 33% było wynikiem stopniowego wzrostu zawartości w biomacie związków lignocelulozowych, trudnych do rozłożenia przez bakterie fermentacji metanowej.

Wydajność biogazu i biometanu, oceniona metodą laboratoryjną, została porównana do wartości tych parametrów obliczonych na podstawie zawartości podstawowych związków organicznych i ich strawności, zgodnie z metodą Basergi [1998]. Badania własne, zawarte w pracy **A5**, pozwoliły stwierdzić, że wydajność biogazu obliczona na podstawie udziału i strawności podstawowych grup związków organicznych (węglowodanów, białek i tłuszczów), znacząco odbiega od wyników uzyskanych w laboratorium, a więc w warunkach bliskich panującym w biogazowniach. Również tendencja zmniejszania się wydajności biogazowej wraz z osiągnięciem dojrzałości ziarna kukurydzy, stwierdzona w badaniach laboratoryjnych i wskazywana w literaturze [Podkówka i in. 2012], nie została potwierdzona metodą obliczeniową. Świadczy to o małej precyzji metody obliczania wydajności, która została opracowana przy założeniu dużego poziomu ogólności i nie odzwierciedla faktycznych zjawisk zachodzących w komorze fermentacyjnej. Metoda obliczeniowa powinna być stosowana raczej w celu ogólnego rozpoznania potencjału biogazowego wybranych substratów, zaś do prac związanych np. z ustalaniem zapotrzebowania na kosubstraty wydaje się bardziej racjonalne przyjmowanie wyników badań niż obliczeń.

Uprawa roślin energetycznych na gruntach przydatnych do produkcji żywności i pasz coraz częściej spotyka się z krytyką, gdyż stanowi konkurencję dla podstawowej produkcji rolniczej i powoduje wzrost cen żywności. Dlatego wskazane jest lokalizowanie plantacji roślin energetycznych na gruntach marginalnych, o słabej jakości lub – w przypadku gatunków wieloletnich – w lokalizacjach trudnych do konwencjonalnej uprawy. Do takich warunków należy dobrać odporne, plastyczne środowiskowo gatunki roślin. Dużą odpornością na niekorzystne warunki, szczególnie wilgotnościowe, charakteryzuje się sorgo cukrowe (*Sorghum bicolor*), które pokrojem przypomina kukurydzę i należy, podobnie jak ona, do traw o cyklu fotosyntezy C4. Oprócz tolerancji okresowych niedoborów wody, sorgo jest też odporne na większość patogenów, które przyczyniają się do coraz większych strat w zasiewach kukurydzy. Sorgo proponowane było jako roślina paszowa, jednak obecność substancji antyżywnościowych ogranicza ten sposób jego zastosowania. Badania nad

energetycznym wykorzystaniem sorga w Polsce są jak dotąd nieliczne [Burczyk 2013; Klimiuk i in., 2010; Matyka, Księżak 2012]. Praca **A6** prezentuje wyniki badań nad tym gatunkiem, które wskazują, że odmiany sorga przystosowane do warunków klimatycznych Polski, znacznie odbiegających od typowych dla jego uprawy (największe powierzchnie zasiewów sorga znajdują się w Afryce), mogą być z powodzeniem uprawiane, zwłaszcza na cele kiszonkowe [Matyka, Madej 2015]. Wydajność biogazu z kiszonki sorga wprawdzie nie dorównywała uzyskiwanej z kukurydzy, jednak w przypadku zbioru w stanie wilgotności 75% uzyskano 588 l/kg s.m.o. biogazu o zawartości 55,7% biometanu. Wraz z nagromadzeniem związków lignocelulozowych wydajność biogazu spadała, jednak nie tak znacząco, jak miało to miejsce w przypadku kukurydzy. Najniższy uzysk biogazu (473,0 l/kg s.m.o.), określony w przypadku kiszonki sporządzonej z sorga o wilgotności 68%, był o niemal 20% niższy od maksymalnego. Stwierdzone w doświadczeniu, opisane w publikacji **A6**, wolniejsze drewnienie biomasy sorga w porównaniu z kukurydzą, zachęca do badań nad możliwością łączenia biomasy tych dwóch gatunków, bądź też ich współrzędnej uprawy [Michalski i in. 2017]. Wyniki badań wskazują też na konieczność precyzyjnego ustalania terminu zbioru tej mało znanej w Polsce rośliny.

Innym gatunkiem o dużej odporności na niekorzystne warunki środowiska jest miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*). Wprawdzie ustępuje on potencjałem plonu hybrydowemu miskantowi olbrzymiemu (*M. giganteus*), jednak łatwość zasiedlania gruntu przez szybko rozrastające się kłącza, a także delikatniejszy pokrój, wskazujący na wolniejsze drewnienie, były powodem podjęcia badań nad oceną przydatności biomasy miskanta cukrowego do produkcji biogazu (praca **A8**). Zbiór jego biomasy w okresie rozwoju wegetatywnego pozwolił na uzyskanie kiszonki o zawartości suchej masy na poziomie 35,1%, co jest wartością typową dla różnych surowców roślinnych poddawanych zakiszaniu [Podkówka i in. 2012]. Fermentacja kiszonki pozwoliła na uzyskanie 341,5 l biogazu z 1 kg s.m.o., a wartość ta była zbliżona do podawanej w literaturze [Klimiuk i in. 2010]. Wydajność biogazu z kiszonki miskanta okazała się o ponad połowę niższa od uzyskanej z najlepszej jakości kiszonki z kukurydzy. Była też niższa w porównaniu z kiszonką z sorga, bez względu na termin jego zbioru.

Potencjał energetyczny, obliczony na podstawie wydajności biometanu i jego wartości opałowej (publikacja **A8**), wskazywał, że z 1 kg s.m.o. miskanta, poddanej fermentacji beztlenowej, można otrzymać ilość biometanu o wartości energetycznej 5,84 MJ (5,54 MJ/kg s.m.). Wartość ta była niemal trzykrotnie mniejsza od ilości energii zawartej w suchej biomacie, określonej metodą kalorymetryczną (16,74 MJ/kg s.m.). Tak duża dysproporcja



mogła być spowodowana dużą zawartością związków lignocelulozowych, stanowiących materiał palny, jednak trudny do rozłożenia dla bakterii fermentacji metanowej. Analogiczne porównanie uzysku energii, sporządzono dla sorga (praca **A6**). Wartość opałowa nadziemnych części sorga, zebranego po zakończeniu wegetacji i spadku wilgotności poniżej 40%, została określona na poziomie 16,65 MJ/kg s.m. Uzysk energii zawartej w biogazie kształtował się na poziomie 7,90-10,89 MJ/kg s.m., w zależności od terminu zbioru. Z kolei w przypadku kukurydzy obliczono, że z 1 kg s.m. kiszonki można uzyskać biogaz o wartości energetycznej od 8,83 do 11,97 MJ/kg, podczas gdy wartość opałowa słomy kukurydzianej wyniosła 16,59 MJ/kg s.m. (publikacja **A5**). Analizując powyższe wyniki badań można stwierdzić, że także w przypadku traw jednorocznych (sorga i kukurydzy) ilość energii chemicznej, jaką można pozyskać w procesie spalania, jest wyższa od wartości energetycznej biogazu wytworzonego z takiej samej ilości biomasy tych roślin, jednak różnica ta nie jest tak duża, jak ma to miejsce w przypadku miskanta. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że wilgotność nadziemnych części miskanta podczas zimowego zbioru w sposób naturalny spada poniżej 20%, co oznacza, że biomasa może być spalana (lub przetwarzana – kompaktowana) bez dodatkowych zabiegów. Sorgo i kukurydza charakteryzowały się wilgotnością w granicach 25-40%, tak więc przed energetycznym wykorzystaniem biomasa powinna być podsuszona, co wiąże się ze zużyciem energii. W przypadku spalania w stanie wilgotności połowej jej wartość opałowa byłaby znacznie niższa. Wysoka wilgotność roślin jednorocznych powoduje, że uzysk energii w biochemicznych i termochemicznych procesach ich wykorzystania okazuje się zbliżony. Proste porównanie wartości energetycznej biomasy i biometanu jest jedynie orientacyjne, bowiem sprawność urządzeń spalających biomasę jest zazwyczaj mniejsza niż biogazowni. W pełni miarodajne porównanie efektywności energetycznej wykorzystania biomasy w procesie fermentacji lub spalania można przeprowadzić wykorzystując opomiarowane urządzenia energetyczne w skali technicznej. Obliczenia przeprowadzone w oparciu o wyniki analiz laboratoryjnych wskazują, że biomasa miskanta cukrowego wydaje się być surowcem odpowiednim do procesów termochemicznych, zaś w przypadku kukurydzy i sorga konwersja w procesach biochemicznych przynosi bardziej korzystne efekty energetyczne.

### ***Ocena skutków środowiskowych energetycznego wykorzystania biomasy***

Całkowite spalanie biomasy prowadzi do powstania dwutlenku węgla i wody. Najczęściej jednak proces spalania jest niepełny, a w jego wyniku powstaje szereg niepożądanych związków: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, gazy powodujące

efekt cieplarniany i inne, mające negatywny wpływ na środowisko i zdrowie ludzi [Bhattacharya i in., 2000].

Biomasa postrzegana jest jako w pełni ekologiczne, odnawialne źródło energii, a jej spalanie – jako proces pozostający bez wpływu na środowisko, szczególnie pod kątem emisji CO<sub>2</sub>. Jednak opinia ta jest tylko częściowo prawdziwa. Faktem jest, że ilość ditlenku węgla, emitowanego do atmosfery podczas spalania biomasy roślinnej, jest w przybliżeniu równa ilości CO<sub>2</sub> pobranego przez rośliny w trakcie wegetacji [McKendry, 2002; Van Loo, Koppejan, 2008], jednak nie można pomijać innych zanieczyszczeń, jakie powstają w procesach termicznej utylizacji biomasy, w tym CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i pyłu, na co wskazują wyniki badań spalin z wybranych rodzajów biomasy [Szyszlak-Bargłowicz i in. 2017]. Tym zagadnieniom poświęcona była część badań, których wyniki zostały zawarte w publikacjach **A3** i **A7**. Oceny emisji zanieczyszczeń powstających podczas spalania biomasy dokonano na podstawie wyników badań dotyczących dwu surowców roślinnych: nadziemnych części wieloletniej trawy spartiny preriowej i krzewu – róży bezkolcowej, na tle parametrów energetycznych węgla kamiennego. W oparciu o wyniki wcześniej omówionych badań polowych i laboratoryjnych przeprowadzono obliczenia, wykorzystując algorytmy stosowane do ustalania wielkości emisji na cele raportowania [Wartości... 2009; Wskaźniki... 1996; Wskaźniki... 2015]. Uzyskane wyniki wskazują, że emisje CO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> ze spalania biomasy mogą przewyższać te, które powstają podczas spalania węgla kamiennego o ekwiwalentnej wartości energetycznej. Obliczona emisja ditlenku węgla w przypadku obydwu rodzajów biomasy okazała się wyższa w porównaniu z równoważną energetycznie ilością węgla kamiennego. Dzięki temu, że rośliny w trakcie wzrostu pobierają CO<sub>2</sub> z atmosfery emisję tę traktuje się jako zerową. Obliczenia wykazały, że spalanie biomasy spartiny preriowej może powodować także większą o 150% emisję NO<sub>2</sub>. W przypadku pozostałych zanieczyszczeń stwierdzono redukcję emisji, nawet do niemal 100% w przypadku SO<sub>2</sub> przy spalaniu biomasy róży. Fernández i in. [2012], Jenkins i in. [1998], Demirbas [2004] twierdzą, że dodatek biomasy do węgla kamiennego powoduje zmniejszenie emisji zarówno SO<sub>2</sub>, jak i NO<sub>x</sub>. Z kolei Tissari i in. [2008] twierdzą, że wielkość emisji zasadniczo różni się w zależności od pochodzenia biomasy. Należy podkreślić, że prace **A3** i **A7**, oparte są na wynikach analiz składu biomasy, zaś emisje zostały obliczone wg metod obowiązujących w czasie prowadzenia badań (które ulegają częstym zmianom), co mogło wpłynąć na uzyskane wskaźniki emisyjności.

W ocenie wpływu spalania biomasy na środowisko należy też brać pod uwagę fakt, że biomasa charakteryzuje się niższą temperaturą topnienia popiołu w porównaniu z węglem

kamiennym, co z kolei wiąże się z ryzykiem emisji WWA, szczególnie podczas spalania w kotłach nieprzystosowanych do tego paliwa. Na problem ten zwrócili uwagę Van Loo i Koppejan [2008]. Spalanie biomasy wiąże się też z emisjami dioksyn [Lavric i in. 2004]. Szereg niepożądanych produktów spalania biomasy, występujących w spalinach i popiołach wymienionych jest też w opracowaniu pod red. Gołosa i Kaliszewskiego [2013]: CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, koksik, DXN, alkalia, metale śladowe. Autorzy podkreślają, że spalanie biomasy wiąże się z koniecznością precyzyjnego doboru parametrów procesu, zapewnieniem odpowiedniego stężenia tlenu, stosowaniem domieszki innych paliw dokładnie wymieszanych z biomasą, utrzymaniem wysokiej temperatury procesu itp. Badania własne, poparte danymi z literatury przedmiotu [Frączek i in. 2011] wskazują, że termochemiczne metody konwersji energii chemicznej zawartej w biomacie na energię użytkową nie są obojętne dla środowiska, a konieczność dopracowania tych technologii i ich dostosowanie do paliwa pozwoli ten wpływ minimalizować.

Stwierdzone w badaniach własnych różnice w składzie biomasy roślin energetycznych i wynikający z nich zróżnicowany wpływ na środowisko i urządzenia grzewcze skłaniają do zalecania rozróżniania biomasy, przynajmniej na poziomie biomasy drzewnej i nie drzewnej, jak ma to miejsce w przypadku norm dla peletów i brykietów, obowiązujących od 2014 r. w Polsce [PN-EN ISO 17225]. Z badań, zawartych w powyżej omówionych artykułach (**A3**, **A4**, **A5**) wynika, że zawartość siarki w biomacie niektórych roślin może kształtować się na poziomie dziesiątych części procenta, a więc zbliżonym do zawartości określonej w węglu kamiennym dobrej jakości [Frączek i in. 2011].

Niejednoznaczny wpływ spalania biomasy na środowisko, przy równoczesnym rosnącym zapotrzebowaniu na grunty niezbędne do uprawy roślin energetycznych, zostały zauważone przez organizacje wpływające na kształt polityki energetycznej Unii Europejskiej. Działania Komisji Europejskiej nie sprzyjają rozwojowi technologii spalania i współspalania, zaś biomasa wykorzystywana do produkcji biopaliw objęta została systemem certyfikacji, który wyklucza użycie surowców pochodzących z obszarów cennych przyrodniczo. Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (ang. *circular economy*), zyskująca coraz większe zainteresowanie w Europie, wskazuje na potrzebę wykorzystania na cele energetyczne w pierwszej kolejności odpadów i produktów ubocznych z rolnictwa, leśnictwa i związanych z nimi gałęzi przemysłu [Chyłek 2016].

#### 4.4. Wskazanie najważniejszych osiągnięć, zawartych w cyklu publikacji

Do najważniejszych moich osiągnięć, stanowiących oryginalny wkład do dyscypliny naukowej – inżynieria rolnicza, zaliczam:

- a) **Wykazanie, że wymagania agroekologiczne i cechy użytkowe nowych i mało znanych gatunków roślin o parametrach szczególnie przydatnych z energetycznego punktu widzenia, pozwalają na ich wprowadzenie do uprawy oraz rozpowszechnienie produkcji w Polsce.** Na podstawie badań polowych i laboratoryjnych rozpoznane zostały agrotechniczne aspekty produkcji pięciu gatunków wieloletnich roślin, należących do różnych rodzin botanicznych, ich przystosowanie do warunków klimatyczno-glebowych południowo-wschodniej Polski oraz parametry energetyczne ich biomasy. Wyniki badań, zawarte w cyklu doświadczeń, z których pierwsze założono w 1999 r., przyczyniły się do wprowadzenia gatunków, będących przedmiotem badań, do systemu płatności uzupełniających, związanych z uprawą roślin energetycznych (Dz.U. 2007, nr 55, poz. 364 z późn. zm.). Oprócz włączenia badanych gatunków do grupy energetycznych, również wysokość plonów reprezentatywnych, przyjęta w rozporządzeniu, była ze mną konsultowana i określana z uwzględnieniem uzyskanych wyników badań. Świadczy to o praktycznym znaczeniu prowadzonych badań i ich wpływie na rozwój OZE w Polsce.
- b) **Określenie wpływu spalania biomasy badanych siedmiu gatunków roślin energetycznych na urządzenia grzewcze, z wykorzystaniem uniwersalnych metod i algorytmów, pozwalających na porównanie właściwości biomasy, niezależnie od jej charakteru i pochodzenia.** Stwierdzona w badaniach własnych duża różnorodność składu chemicznego popiołów świadczy o zróżnicowanym, odmiennym od węgla kamiennego, oddziaływaniu na elementy kotłów. Spalanie biomasy wszystkich badanych gatunków roślin wiąże się z ryzykiem zanieczyszczenia i zmniejszenia sprawności kotłów. Obliczone wskaźniki osadzania się zanieczyszczeń na elementach grzejnych kotłów i niskie temperatury topliwości popiołu wskazują na występowanie dużego ryzyka zażużlenia w przypadku spalania bylin, zaś najmniejsze – traw wieloletnich. Wyniki badań mogą stanowić podstawę do podejmowania decyzji dotyczących doboru biomasy i komponowania mieszanin do spalania i współspalania, w zależności od parametrów urządzeń energetycznych i warunków procesu.

- c) **Określenie wydajności biogazu z kiszonek przygotowanych z biomasy trzech gatunków roślin, zbieranych w różnych fazach wegetacji.** Ocena wydajności biogazu z kiszonek trzech gatunków traw typu C4, potwierdza wysoką przydatność kukurydzy, szczególnie we wczesnych fazach dojrzałości ziarna. Badania nad sorgiem i miskantem cukrowym, jako substratami dla biogazowni, stanowią ważny przyczynek do rozpowszechnienia ich uprawy, zwłaszcza na gruntach marginalnych, co może ograniczyć konkurencję pomiędzy agroenergetyką a produkcją żywności. Cenne jest wykazanie przydatności sorga do produkcji biogazu, gdyż może ono zastąpić kukurydzę, której uprawa narażona jest na coraz większe problemy ze względu na coraz częściej występujące susze i nasilenie patogenów. Stwierdziłam niższą zawartość suchej masy w biomacie sorga w porównaniu z kukurydzą, przy relatywnie wysokim potencjale plonowania, co zachęca do podjęcia badań nad możliwością sporządzania kiszonek z mieszanin biomasy tych dwóch gatunków, bądź też ich współrzędnej uprawy – intercropping (mixcropping). Na podstawie przeprowadzonych badań wskazałam najbardziej korzystne terminy zbioru sorga i kukurydzy w określonych warunkach glebowo-klimatycznych. Ponadto dowiodłam, że bardziej korzystne efekty energetyczne przynosi wykorzystanie biomasy miskanta cukrowego w procesach termochemicznych, zaś kukurydzy i sorga – w biochemicznych.
- d) **Rozpoznanie środowiskowych skutków zastosowania biomasy do termochemicznych procesów energetycznych.** Omówione prace wskazują na fakt, że energetyczne wykorzystanie biomasy nie jest obojętne dla środowiska, powoduje emisje związków, których część została pobrana podczas wegetacji roślin ( $\text{CO}_2$ ), część zaś stanowią pierwiastki, które dostarczono roślinom w postaci nawozów, a także substancje powstające podczas procesów konwersji. Wyniki moich badań laboratoryjnych i obliczeń dowiodły, iż procesy termicznej konwersji paliw biomasowych wymagają znajomości parametrów surowców, technologii ich przetwarzania w określonych warunkach i urządzeniach. Obserwacje, które poczyniłam podczas prowadzenia opisanych powyżej badań, okazały się zgodne z poglądem, obecnie wprowadzanym na poziomie Unii Europejskiej, iż spalanie biomasy nie jest procesem pożądanym ze względów gospodarczych i środowiskowych. Najnowsze światowe trendy wydają się nie sprzyjać procesowi spalania, szczególnie biomasy pochodzącej z upraw celowych. Obszary wskazywane jako odpowiednie dla zakładania plantacji roślin energetycznych to nieużytki, grunty zanieczyszczone i inne, nie nadające się do produkcji żywności i pasz. W tym kontekście dobór roślin, przyjętych do

doświadczeń wydaje się szczególnie trafny, gdyż wśród badanych gatunków większość charakteryzowała się małymi wymaganiami i dużą plastycznością środowiskową, a więc były przydatne do uprawy na gruntach marginalnych.

#### **4.5. Omówienie możliwości wykorzystania osiągniętych wyników badań**

Wyniki badań, które stanowiły podstawę do przygotowania cyklu publikacji, stanowiącego osiągnięcie naukowe, mogą znaleźć praktyczne wykorzystanie w czterech obszarach:

1. Rolnictwo – dane zawarte w artykułach, dotyczące wymagań, agrotechniki i właściwości nowych gatunków roślin uprawnych, mogą być wykorzystane przez rolników. Prace pozwalają zapoznać się z przebiegiem wzrostu i rozwoju, sposobami rozmnażania, pielęgnacji i zbioru wieloletnich roślin energetycznych. Wyniki badań mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji dotyczących założenia plantacji konkretnych gatunków, czy też wprowadzania nowych metod agrotechnicznych (np. intercropping);
2. Wytwórcy energii (elektrownie, elektrociepłownie, biogazownie) – wyniki badań mogą być pomocne przy doborze rodzajów biomasy, komponowaniu mieszanin do spalania, współspalania, kofermentacji. Parametry paliw, a szczególnie dane dotyczące ich wpływu na urządzenia grzewcze, mogą być istotne przy doborze urządzeń i parametrów procesów konwersji, a także zakupów czy kontraktacji roślin uprawianych na cele energetyczne. Uzyskane wyniki mogą być także przydatne wytwórcom energii w systemach rozproszonych: małych ciepłowniach, kotłowniach zbiorowych i przydomowych;
3. Instytucje zajmujące się ochroną środowiska – informacje o emisjach i rzeczywistym wpływie na środowisko pozwolą na całościową ocenę skutków energetycznego wykorzystania biomasy, szczególnie w przypadku jej spalania w urządzeniach i warunkach niedostosowanych do tego rodzaju paliw;
4. Instytucje rządowe i samorządowe, podejmujące decyzje dotyczące kierunków rozwoju OZE w Polsce – wyniki badań zostały już wykorzystane na etapie tworzenia przepisów dotyczących płatności do roślin energetycznych, co świadczy o ich znaczeniu praktycznym. Jednostki samorządu terytorialnego mogą korzystać z wyników badań zawartych w omawianych publikacjach przy opracowywaniu lokalnych strategii rozwoju, podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru źródeł energii w celu zaspokojenia lokalnych potrzeb itp.

#### 4.6. Literatura

1. Baserga U. 1998. Landwirtschaftliche Co-Vergarungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte, 512, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tanikon, Schweiz.
2. Bhattacharya S.C., Abdul Salam P., Sharma M. 2000. Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries. *Energy*, 25: 169-188.
3. Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) 2010. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Instytut Energetyki, Warszawa.
4. Borkowska H., Styk B. 1997 (wyd. I), 2006 (wyd. II). *Ślázowiec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby)*. Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR w Lublinie, Lublin.
5. Burczyk H. 2013. Przydatność poplonu ozimego oraz kukurydzy i sorgo w plonie wtórnym do produkcji biomasy dla biogazowni. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2(80): 87-97.
6. Celińska A. 2009. Charakterystyka różnych gatunków upraw w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej. *Polityka Energetyczna*, 12 (2/1), 59-72.
7. Chyłek E. 2016. Nowe strategie Komisji Europejskiej dotyczące biogospodarki i gospodarki wewnętrznej o obiegu zamkniętym. *Polish Journal of Agronomy*, 25: 3-12.
8. Ciechanowicz W., Szczukowski S. 2006. Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa.
9. CoalTech 2007. Slagging and fouling indices. <http://www.coaltech.com.au/Linked Documents/Slagging%20&%20Fouling.pdf> (dostęp 29.12.2018.)
10. Demirbas A. 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30: 219-230.
11. Directive 2009/28/EC of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
12. Dzurenda L., Jabłoński M., Dobrowolska E., Kłosińska T. 2011. Wykorzystanie energetyczne dendromasy. Wyd. SGGW, Warszawa.
13. Edwards R., Suri M., Huld M., Dallemand J. 2005. GIS-Based assessment of cereal straw energy resource in the European Union. Proc. 14<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Paris, France, 17-21.
14. Energia ze źródeł odnawialnych w 2017 roku. GUS, Warszawa 2018.
15. Fernández R.C., García C.P., Lavín A.G., Bueno de las Heras J.L. 2012. Study of main combustion characteristics for biomass fuels used in boilers. *Fuel Processing Technology*, 103: 16-26.

16. Frączek J., Kurpaska S., Łapczyńska-Kordon B. 2011. Thermal conversion of biomass. PTIR, Kraków.
17. Gołos P., Kaliszewski A. (red.) 2013. Biomasa leśna na cele energetyczne. IBL, Sękocin Stary.
18. Gostomczyk W. 2017. Stan i perspektywy rozwoju rynku biogazu w UE i Polsce – ujęcie ekonomiczne. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 17(XXXII), 2: 48-64.
19. Gradziuk P. 2015. Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG PIB, 45.
20. Gradziuk B., Gradziuk P. 2015. Foreign trade of biomass for energy purposes in Poland in the years 2008-2014. Barometr Regionalny, 13, 3: 153-159.
21. Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościk B. 2003. Biopaliwa. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
22. Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles Jr. T.R., Miles T.R. 1998. Combustion properties of biomass. Fuel Processing Technology, 54: 17-46.
23. Klimiuk E., Pokój T., Budzyński W., Dubis B. 2010. Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. Bioresource Technology, 101: 9527-9535.
24. Kuś J., Matyka M. 2010. Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 3: 59-65.
25. Lavric E.D., Konnov A.A., De Ruyck J. 2004. Dioxin levels in wood combustion – a review. Biomass and Bioenergy, 26: 115-145.
26. Luo Z., Zhou J. 2012. Thermal Conversion of Biomass. W: Chen WY., Seiner J., Suzuki T., Lackner M. (red.) Handbook of Climate Change Mitigation. Springer, New York, NY.
27. Matyka M., Księżak J. 2012. Plonowanie wybranych gatunków roślin, wykorzystywanych do produkcji biogazu. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1(75): 69-75.
28. Matyka M., Madej A. 2015. Efektywność ekonomiczna uprawy sorgo w zależności od poziomu nawożenia azotem. Roczniki Naukowe SERiA, XVII(1): 149-152.
29. McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83: 37-46.
30. Michalski T., Kowalik I., Szulc P., Waligóra H., Sobieszkański R. 2017. Yielding and plant structure of maize intercropped with sorghum. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 62(4): 18-24.



31. Monti A., Di Virgilio N., Venturi G. 2008. Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy*, 32: 216-232.
32. Myczko A. (red.) 2011. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. ITP, Falenty.
33. Piechocki J. 2011. Analiza możliwości wykorzystania biomasy pochodzenia rolniczego w bilansie energetycznym województwa warmińsko-mazurskiego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(126), 181-187.
34. Piekarski W. (red.) 2011. The acquisition and processing of biomass of Virginia mallow for energy purposes. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
35. PN-EN ISO 17225 Biopaliwa stałe. Specyfikacje paliw i klasy; części 1-7.
36. Podkówka W., Podkówka Z., Kowalczyk-Juśko A., Pasyniuk P. 2012. Biogaz rolniczy odnawialne źródło energii – teoria, praktyczne zastosowanie. PWRiL, Warszawa.
37. Rada Unii Europejskiej, Odnowiona strategia UE dotycząca trwałego rozwoju, 10117/06, 2006.
38. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 14 marca 2007 r. w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych. Dz. U. 2007, nr 55, poz. 364 z późn. zm. (uchylone).
39. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2012 r., poz. 1229, z późn. zm.
40. Sawicki, Kościk K. 2003. Trawy i zbiorowiska trawiaste. [w:] *Rośliny energetyczne*, B. Kościk (red.), Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 111-135.
41. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2008. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka*, 1: 77-80.
42. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2013. Yield, energy parameters and chemical composition of short rotation willow biomass. *Industrial Crops and Products*, 46: 60-65.
43. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M. 2005. Produktywność wierzb krzewiastych pozyskiwanych w jednorocznych cyklach zbioru. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 4(1): 141-151.

44. Szyszlak-Bargłowicz J., Zając G., Słowik T. 2017. Badanie emisji wybranych zanieczyszczeń gazowych podczas spalania peletów z agro biomasy w kotle małej mocy. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 19: 715-730.
45. Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., Winnicka G. 2007. Problemy związane ze współspalaniem biomasy w kotłach energetycznych. [w:] Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M. (red.). *Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce*, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Politechnika Śląska, Zabrze, 17-42.
46. Tissari J., Sippula O., Kouki J., Vuorio K., Jokiniemi J. 2008. Fine Particle and Gas Emissions from the Combustion of Agricultural Fuels Fired in a 20 kW Burner. *Energy Fuels*, 22(3): 2033-2042.
47. U Thant S. 1970. Człowiek i jego środowisko. Raport Sekretarza Generalnego ONZ, Biuletyn Polskiego Komitetu ds. UNESCO.
48. Van Loo S., Koppejan J. (red.). 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. Earthscan, Londyn.
49. Vassilev S.V., Baxter D., Vassileva C.G. 2014a. An overview of the behaviour of biomass during combustion: Part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types. *Fuel*, 117: 152-183.
50. Vassilev S.V., Vassileva C.G., Baxter D. 2014b. Trace element concentrations and associations in some biomass ashes. *Fuel*, 129: 292-313.
51. Viana H., Vega-Nieva D.J., Ortiz Torres L., Lousada J., Aranha J. 2012. Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel*, 102: 737-745.
52. Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji (WE) w roku 2007 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2010. Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji, Warszawa 2009.
53. Wiśniewski G., Rogulska M., Grzybek A., Pietruszko S.M. 1995. The role of renewable energy in carbon dioxide emission reduction in Poland. *Applied Energy*, 52: 291-298.
54. Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw. Materiały informacyjno-instruktażowe, S. 1/96. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1996.
55. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw. Kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW. KOBiZE IOŚ-OIB, Warszawa 2015.

## **5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze**

### **5.1. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora**

Badania w tym okresie dotyczyły głównie różnych aspektów produkcji tytoniu: agrotechniki, efektywności, reakcji na wybrane czynniki środowiska. Wyniki badań polowych wskazywały na możliwość zwiększenia efektywności uprawy tej przemysłowej rośliny, dzięki stosowaniu nawożenia rzędowego (zał. 3, II.D3. 2), hydrożelu zwiększającego pojemność wodną podłoża (zał. 3, II.D3. 7, 12), a także innych metod intensyfikacji produkcji (zał. 3, II.D3. 5). Wyniki badań prezentowałam na konferencjach naukowych (zał. 3, III.B. 1, 4, 8, 10, 12), w tym na Międzynarodowej Konferencji Doktorantów w Miskolc, na Węgrzech (zał. 3, II.K1. 2; III.B. 13). Oprócz artykułów naukowych, wspólnie z moim promotorem prof. B. Kościkiem, przygotowałam cykl artykułów o charakterze popularnym, opublikowanych w lokalnym czasopiśmie kierowanym do rolników (zał. 3, III.I6. 1-9). Równocześnie poszukiwałam innych interesujących tematów badawczych, obserwując zmiany zachodzące w polskim rolnictwie, a także środowisku. Efektem tego etapu rozwoju naukowego są artykuły dotyczące czynników produkcji wybranych roślin uprawnych (zał. 3, II.D3. 6, 8, 10, 11, 13), a także wpływu działalności człowieka na środowisko (zał. 3, II.D3. 4, 9; III.B. 11). Z przeprowadzonych badań wyłania się zakres zmian, jakie zachodziły pod koniec XX w. na polskich obszarach wiejskich, w tym dywersyfikacja funkcji wsi, czy podejmowanie działalności pozarolniczej (zał. 3, III.B. 2, 7, 9). Badania dotyczące aspektów środowiskowych (zał. 3, II.D3. 14) wskazują, że zmieniało się też podejście mieszkańców terenów wiejskich do jakości środowiska, a dbałość o otoczenie zaczynała zyskiwać na znaczeniu.

Badania dotyczące produkcji rolnej wskazały nowy kierunek, dopiero tworzący się w polskim rolnictwie: agroenergetykę. W publikacjach (zał. 3, II.D3. 3; III.B. 3, 5) zawarłam ocenę możliwości wprowadzania do uprawy nowych roślin uprawnych, przy czym szczególną uwagę poświęciłam roślinom energetycznym. Wprawdzie wyniki badań ankietowych wskazywały na słabą znajomość tematyki energetycznego wykorzystania biomasy oraz umiarkowane zainteresowanie rolników nowymi gatunkami roślin, jednak z uwagi na światowe trendy uznałam tę tematykę za interesującą z naukowego punktu widzenia oraz perspektywiczną dla praktyki rolniczej i rozwoju społeczeństwa, dlatego stała się wiodącą dziedziną moich dalszych badań.

## **5.2. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia naukowego doktora**

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w zakresie uprawy roślin zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta, na którym pracuję do chwili obecnej. Poza kierunkiem badań określonym w punkcie 4 niniejszego autoreferatu (jako osiągnięcie naukowe), moje badania po uzyskaniu stopnia doktora obejmowały następujące zagadnienia:

1. Badania nad agrotechniką tytoniu;
2. Uprawa wybranych gatunków roślin energetycznych i wykorzystanie biomasy;
3. Ocena potencjału biomasy na cele energetyczne;
4. Badania związane z budową i eksploatacją biogazowni, a także zagospodarowaniem produktów procesu fermentacji: biogazu i masy pofermentacyjnej;
5. Aspekty techniczne, środowiskowe, społeczne i ekonomiczne produkcji energii z odnawialnych źródeł;
6. Przydatność różnych gatunków roślin wieloletnich do zastosowania w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków.

### **Ad. 1. Badania nad agrotechniką tytoniu**

Kontynuacja badań, prowadzonych przed uzyskaniem stopnia doktora, obejmowała doświadczenia polowe i analizy efektywności wybranych czynników agrotechnicznych stosowanych w uprawie tytoniu. Wyniki badań opublikowane w czasopismach naukowych o zasięgu krajowym (zał. 3, II.D3. 18) i referaty wygłaszane na konferencjach naukowych (zał. 3, III.B. 21, 28) określały efektywność nawożenia tytoniu wybranymi nawozami azotowymi. Azot, jako pierwiastek o najsilniejszym działaniu plonotwórczym, równocześnie w największym stopniu wpływa na jakość surowca tytoniowego. Wyniki badań wskazują, że zarówno niedobór azotu, jak i jego nadmiar niekorzystnie wpływają na plon liści, jak też tzw. jakość wykupową (zał. 3, II.D3. 21, 22, 26). Azot stosowany jest nie tylko w postaci nawozów mineralnych; także nawozy organiczne, a szczególnie naturalne, zawierają znaczące ilości tego pierwiastka. Jak wynika z przeprowadzonych badań, rolnicy nie zawsze zdają sobie sprawę z ilości składników wnoszonych do gleby wraz z obornikiem czy gnojowicą, a także z wpływu tych nawozów na jakość plonów (zał. 3, II.D3. 15). Stwierdzono, że zalecenia agrotechniczne w tym zakresie nie zawsze są respektowane przez plantatorów, co m.in. przyczynia się do uzyskiwania w Polsce niskiej jakości surowca. W badaniach wykorzystywane były nowoczesne metody oceny stanu odżywienia tytoniu azotem, w tym urządzenie optyczne – chlorofilometr (zał. 3, II.D3. 16).

Uprawa tytoniu przynosi plantatorom (i budżetowi kraju) wymierny dochód, jednak wiąże się też z produkcją używek, które są coraz częściej krytykowane ze względu na skutki zdrowotne palenia wyrobów tytoniowych. Malejąca akceptacja społeczna palenia, a także własne przekonania spowodowały, że w dalszej pracy naukowej skupiłam się na tematyce, którą podjęłam już przed uzyskaniem stopnia doktora: odnawialnych źródłach energii.

## **Ad. 2. Uprawa wybranych gatunków roślin energetycznych i wykorzystanie biomasy**

Najważniejszym w Polsce odnawialnym źródłem energii jest biomasa. Obecnie dominuje wykorzystanie biomasy stałej, szczególnie pochodzącej z leśnictwa i przemysłu drzewnego, jednak stopniowo będzie ona zastępowana biomasą rolniczą i produktami ubocznymi z przetwórstwa produktów rolnych. Zmiany te wynikają m.in. z przepisów, regulujących rozwój OZE w Polsce. Aby sprostać tym obowiązkom, wytwórcy energii poszukują surowców o możliwie jednolitym składzie i dużej koncentracji. Takie warunki spełniają celowo uprawiane rośliny o znanych parametrach energetycznych, możliwie dokładnie rozpoznane. Elektrownie i elektrociepłownie, a także producenci peletów i brykietów oczekują, że cechy surowca będą zgodne z ich wymogami, dlatego dostarczanie biomasy niejednorodnej, pochodzącej z nieznanych źródeł i złożonej z materiału o różnorodnych właściwościach może nastęrczać problemy zarówno dostawcom, jak i odbiorcom biomasy. W tej sytuacji uznałam za potrzebne i interesujące rozpoznanie możliwości uprawy i energetycznego wykorzystania różnych gatunków roślin, szczególnie wieloletnich. Część wyników badań z tego zakresu zawarłam w cyklu powiązanych tematycznie publikacji, stanowiącym podstawę do złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego (zał. 3, I.B. 1-9). Oprócz ww. prac, opublikowałam, jako autorka lub współautorka, szereg innych artykułów naukowych, dotyczących zagadnienia produkcji biomasy z plantacji celowych (zał. 3, II.A. 7; II.D3. 17, 25, 27, 39, 40, 54, 55). Podstawę artykułów stanowiły wieloletnie doświadczenia polowe i badania laboratoryjne. Część badań została przeprowadzona w latach 2006-2009 w ramach projektu badawczego, finansowanego przez KBN „Produkcja i wykorzystanie biomasy wybranych gatunków roślin na cele energetyczne” N31007331/3140, którego byłam głównym wykonawcą.

Wyniki badań wskazywały na duże zróżnicowanie wymagań poszczególnych roślin, a także ich parametrów energetycznych. Z jednej strony świadczy to o możliwościach doboru gatunków do potrzeb odbiorcy biomasy czy możliwości produkcyjnych danego gospodarstwa, z drugiej jednak wskazuje na konieczność starannego doboru biomasy o danych właściwościach, w zależności od technologii jej przetwarzania na energię w konkretnych

urządzeniach. Badania wpływu energetycznego wykorzystania biomasy na urządzenia grzewcze wykazały także duże zróżnicowanie składu popiołu, odpowiedzialnego za osadzanie zanieczyszczeń i zmniejszanie sprawności kotłów (zał. 3, II.D3. 34, 48; III.B. 73).

Wyniki badań przybliżałam na konferencjach naukowych (zał. 3, II.K1, K2) i branżowych (zał. 3, III.I5). W celu upowszechnienia uprawy nowych lub mało znanych w Polsce gatunków roślin opublikowałam też szereg artykułów popularnonaukowych w czasopiśmie kierowanym do rolników i osób zajmujących się odnawialnymi źródłami energii (zał. 3, III.I6. 10, 12, 13, 15-24, 42, 43, 97, 98, 100). Wskazywałam też na nowe, energetyczne możliwości wykorzystania biomasy roślin dobrze znanych w polskim rolnictwie, jak burak (zał. 3, III.I6. 29, 36), kukurydza (zał. 3, III.I6. 27), czy nieco zapomniana kapusta pastewna (zał. 3, III.I6. 65).

Konflikt przestrzenny pomiędzy produkcją żywności i surowców energetycznych prowadzi do wzrostu cen obydwu tych grup produktów, a zjawisko to spotyka się z coraz częstszą krytyką. Dlatego w swoich badaniach skupiłam się na gatunkach o małych wymaganiach, które mogą być przydatne do uprawy na gruntach marginalnych, nieprzydatnych do produkcji żywności i pasz np. ze względu na trudności w prowadzeniu prac agrotechnicznych, niskiej jakości bonitacyjnej czy zanieczyszczeniu (zał. 3, II.D2. 1-3; II.B. 14). W takich warunkach należy liczyć się też z mniejszymi plonami roślin energetycznych, jednak ich niektóre cechy, jak np. trwałość, pozwalają na uprawę w warunkach niekorzystnych, gdyż po jednokrotnym przygotowaniu stanowiska i założeniu plantacji możliwy jest wielokrotny zbiór plonu, bez konieczności wykonywania częstych zabiegów (zał. 3, II.D3. 20).

### **Ad. 3. Ocena potencjału biomasy na cele energetyczne**

Podjęcie decyzji dotyczących wyboru odnawialnego źródła energii dla danego przedsięwzięcia wymaga wcześniejszej oceny jej potencjału, co jest zagadnieniem złożonym. Na problemy metodologiczne w tym zakresie zwracał uwagę artykuł mojego współautorstwa (zał. 3, II.D3. 24). W latach 2008-2011 brałam udział, wspólnie z pracownikami Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Politechniki Białostockiej i Politechniki Wrocławskiej, w realizacji projektu 0515/R/H03/2009/06 „Uwarunkowania i mechanizmy racjonalizacji gospodarowania energią w gminach”, finansowanego przez NCBiR. Moim zadaniem było prowadzenie i koordynacja badań naukowych, dotyczących szacowania zasobów OZE, szczególnie biomasy. Przygotowanie bilansu biomasy na cele energetyczne w 9 gminach poprzedzone było uszczegółowieniem metodyki, stosowanej w odniesieniu do oceny zasobów

słomy i drewna, a także opracowanie nowych metod szacowania potencjału biomasy przydatnej do wykorzystania w biogazowniach. Efektem realizacji projektu było autorstwo i współautorstwo rozdziałów w opracowaniach monograficznych (zał. 3, II.D2. 27-30), a także artykułu zał. 3, II.D3. 47. Na bazie przeprowadzonych badań, a także dostępnej literatury, uszczegółowiona została metodyka szacowania zasobów OZE, ze szczególnym uwzględnieniem biomasy, jako dominującego zasobu odnawialnego, dostępnego szeroko dla krajowej energetyki (zał. 3, II.D3. 36). Na podstawie opracowanej metodyki prowadziłam badania, które pozwoliły na ocenę zasobów biomasy odpadowej i celowej, przydatnej do produkcji biopaliw stałych, takich jak zrębki, pelety, brykiety (zał. 3, II.D3. 37, 45, 69) i biogazu (zał. 3, II.D3. 33). Opracowana metodyka pozwala na kompleksową ocenę zasobów biomasy, która może być wykorzystana w różnych procesach. Terytorialne ujęcie problemu jest istotne z punktu widzenia inwestorów, którzy planują uruchomienie produkcji biopaliw (stałych, ciekłych bądź gazowych) i oczekują informacji, dotyczących możliwości pozyskania surowców w jak najbliższym otoczeniu. Badania dotyczące przestrzennego rozmieszczenia biomasy z różnych źródeł stanowiły podstawę kolejnych publikacji (zał. 3, II.D2. 17, 21, 24).

Opracowana metodyka szacowania zasobów biomasy posłużyła także do przygotowania ekspertyz na zlecenie jednostek samorządu terytorialnego (zał. 3, II.E. 1, 2, 4, 8) i przedsiębiorstw (zał. 3, II.E. 9, 14, 15), w tym w ramach projektów realizowanych na obszarze woj. lubelskiego, finansowanych ze środków Unii Europejskiej. Dokumenty te były przydatne zleceniodawcom przy podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru źródła energii dla obiektów wymagających stałego lub okresowego dostarczania energii (ciepłownie lokalne), a także oszacowania możliwości produkcji granulatów opałowych. W ekspertyzach wykorzystywałam nie tylko autorską metodykę szacowania zasobów biomasy, ale także opisane wcześniej wyniki badań nad roślinami energetycznymi, jeśli opracowania te wymagały wskazania gatunków przydatnych do uprawy w konkretnych warunkach agroklimatycznych (zał. 3, II.E. 16, 20).

Zasady szacowania zasobów OZE, ze szczególnym uwzględnieniem biomasy, stanowią też temat rozdziału, którego jestem autorką, zawartego w podręczniku akademickim (zał. 3, III.I4. 1).

#### **Ad. 4. Badania związane z budową i eksploatacją biogazowni oraz zagospodarowaniem produktów procesu fermentacji: biogazu i masy pofermentacyjnej.**

Energetyczne wykorzystanie biomasy może odbywać się w procesach termochemicznych (spalanie, zgazowanie, piroliza) i biochemicznych (fermentacja etanolowa

i metanowa). Najprostszym, najbardziej rozpowszechnionym, a równocześnie coraz częściej krytykowanym sposobem pozyskania energii z biomasy jest jej spalanie, szczególnie w mieszankach z węglem kamiennym (tzw. współspalanie). Duża część moich badań dotyczyła produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej. Wprawdzie sama fermentacja powszechnie występuje w środowisku (na bagnach, w przewodach pokarmowych przeżuwaczy, w miejscach przechowywania odchodów zwierząt), jednak prowadzenie jej w specjalnie konstruowanych budowlach – biogazowniach – ciągle jest w Polsce mało znane. Temat ten podjęłam już w 2003 r. (zał. 3, II.D2. 7; III.B. 18), w związku z koncepcją budowy biogazowni w jednej z gmin w woj. lubelskim. Pierwsza „nowoczesna” biogazownia rolnicza została oddana do użytku w 2005 r. w miejscowości Pawłówko przez firmę Poldanor S.A. i stała się obiektem moich pierwszych badań nad technologią fermentacji (zał. 3, III.I6. 30-34; III.B. 30). Kolejne badania z tego zakresu dotyczyły aspektów formalno-prawnych budowy i eksploatacji biogazowni (zał. 3, II.D3. 50; III.B. 3F.84, 94; III.I6. 35, 64, 70, 78, 126), doboru substratów (zał. 3, II.A. 1; II.D3.29, 61, 62; IID4. 1, 2; II.D2. 18; III.B. 70, 81; III.I6. 37, 58, 67, 82, 84 105, 111, 118, 122), użytkowania instalacji (zał. 3, II.D2. 44; III.B. 55; III.I6. 54-62, 69, 74), efektywności procesu (zał. 3, II.D3. 30; III.I6. 109). Jestem też współautorką monografii, szeroko omawiającej tematykę produkcji biogazu (zał. 3, II.D1. 1), a także autorką opracowania monograficznego, którego celem było przybliżenie produkcji biogazu szeroko rozumianemu społeczeństwu, szczególnie mieszkańcom obszarów wiejskich (zał. 3, II.D1.2). Opracowałam też rozdziały w monografiach, dotyczące produkcji biogazu (zał. 3, II.D2. 14, 23), a wyniki badań prezentowałam na licznych konferencjach naukowych i branżowych (zał. 3, II.K2; III.I5).

Biogaz stanowi biopaliwo gazowe, wykorzystywane w silnikach kogeneracyjnych, do napędu pojazdów lub po oczyszczeniu – wtłaczane do sieci (zał. 3, II.D3. 38, 51; III.I6. 44, 60, 62, 121). Ostatni z wymienionych sposobów postępowania z biometanem był tematem prac badawczych, które realizowałam w latach 2014-2015. Brałam udział w przygotowaniu, a następnie w realizacji jako kierownik projektu współfinansowanego ze środków NCBiR w ramach programu Innowacje Społeczne pn: „Budowa poleskiej sieci biogazowej w oparciu o model społecznej partycypacji mieszkańców (PolBioNet)” Nr /IS-2/45/NCBR/2015. Projekt był realizowany przez konsorcjum, w skład którego, oprócz Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, wchodziły dwa przedsiębiorstwa i stowarzyszenie. Zadania, za które odpowiadała Uczelnia, zostały podsumowane raportami (zał. 3, II.E. 22, 23), zaś część wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu stała się podstawą do przygotowania artykułu (zał. 3, II. D3. 75).



Funkcjonowanie biogazowni ma na celu produkcję biogazu, jednak równocześnie powstaje produkt uboczny: masa pofermentacyjna, nazywana pofermentem, która może stanowić dla biogazowni problematyczny odpad lub źródło dodatkowego dochodu. Zagospodarowanie pofermentu było tematem moich badań, których wyniki zostały opublikowane w podziale na aspekty techniczne (zał. 3, III.B. 48, 51, 61; III.I6.101, 116, 119; II.D5.7) i prawne (zał. 3, III.B.56; III.I6.83). Wyniki badań wskazują, że poferment ma dużą wartość nawozową, jednak często zmieniające się przepisy powodują, że prawidłowe jego zagospodarowanie nastęrcza trudności użytkownikom biogazowni.

Problemy związane z gospodarką pofermentem stanowiły przedmiot badań, które prowadziłam w ramach międzynarodowego projektu „Assessment of biogas production risks in the Baltic Sea Region from the perspective of management of nutrient matter” (ToR Biogas). Projekt, w którego realizację w latach 2017-2018 było zaangażowanych 7 instytucji naukowych i stowarzyszeń, reprezentujących 6 krajów nadbałtyckich (Polska, Finlandia, Szwecja, Łotwa, Estonia i Dania) finansowany był przez John Nurminen Foundation, Helsinki, Finland. Do moich zadań, jako wykonawcy, należało przeprowadzenie analizy ryzyka dla regionu Morza Bałtyckiego, wynikającego z produkcji biogazu w Polsce, z punktu widzenia zarządzania substancjami biogennymi. Efektem realizacji zadania było opracowanie raportu „Draft report of risk assessment of biogas production in Poland” (zał. 3, II.E. 24), który zawiera ocenę ryzyka wynikającego z rozwoju technologii produkcji biogazu. Analiza uwzględniała trzy rodzaje biogazowni: rolnicze, składowiskowe i pracujące przy oczyszczalniach ścieków. Oceniany był wpływ tych instalacji na środowisko, szczególnie na wody powierzchniowe i podziemne, w aspekcie ryzyka przedostania się tych zanieczyszczeń do Bałtyku. Obecny stan rozwoju biogazowni w Polsce (niewiele ponad 300 instalacji, w tym zaledwie ok. 100 rolniczych), nie generuje znaczącego zagrożenia dla środowiska, jednak niezbędne jest przestrzeganie przepisów dotyczących przechowywania, transportu i wykorzystania zarówno surowców do produkcji biogazu, jak i powstającego w procesie pofermentu.

#### **Ad. 5. Aspekty techniczne, środowiskowe, społeczne i ekonomiczne produkcji energii z odnawialnych źródeł**

Pogarszający się stan poszczególnych elementów środowiska, oceniany w przeprowadzonych badaniach (zał. 3, II.D3. 79; II.D2. 5, 8; III.B. 16, 17, 31, 52), wskazuje na potrzebę podejmowania działań minimalizujących wpływ człowieka na otoczenie. Jednym ze sposobów zmniejszania antropopresji jest ograniczanie emisji zanieczyszczeń do

atmosfery, poprzez zastępowanie energii wytwarzanej w oparciu o surowce konwencjonalne (w Polsce dominuje węgiel kamienny i brunatny) – energią pochodzącą ze źródeł odnawialnych. Jak udowodniono w badaniach (zał. 3, II.D2. 9) działania te są zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju, gdyż pozwalają zaspokoić aktualne potrzeby energetyczne społeczeństwa, jak też przyszłych pokoleń, przy możliwie małym wpływie na środowisko. Wykorzystanie OZE wprawdzie ma charakter lokalny (zał. 3, II.D2. 25, 32), ale efekty ekologiczne mogą być oceniane w znacznie szerszej skali: regionu, kraju (zał. 3, II.D2. 6), a nawet międzynarodowej (zał. 3, II.D2. 11, 13).

W badaniach własnych skupiam się szczególnie na energetycznym wykorzystaniu biomasy, stąd także aspekty środowiskowe produkcji energii w oparciu o różne surowce, określane mianem biomasy, stanowią najczęściej rozpatrywane zagadnienie z tego zakresu. Najważniejszym OZE w Polsce jest biomasa stała: drewno i odpady z przetwórstwa drzewnego. Analiza parametrów energetycznych biomasy drzewnej: wierzby, topoli i mieszanych zrębek, pochodzących z profesjonalnego przedsiębiorstwa zajmującego się obrotem biomasą, potwierdziła, znaną z literatury, wysoką wilgotność surowca, na poziomie zbliżonym do 50% (zał. 3, II.D3. 53). Wartość ta ma znaczący wpływ na pozostałe wskaźniki energetyczne, co implikuje konieczność dosuszania lub stratę energii potrzebnej na odparowanie wody podczas procesu spalania (zał. 3, II.D3. 49). Ciepło spalania biomasy w stanie roboczym nie przekraczało 10 MJ/kg, bez względu na pochodzenie biomasy. Aby uzyskać wysoką sprawność spalania biomasy należy przeprowadzać proces w kotłach przystosowanych do tego specyficznego paliwa. Analiza efektów ekonomicznych i ekologicznych spalania drewna w kotłach o małej mocy wykazała dostępność na rynku urządzeń, pozwalających uzyskać niższy koszt jednostkowy wytworzenia ciepła w porównaniu z węglem średniej jakości, zaś emisja większości zanieczyszczeń była zdecydowanie niższa od granicznej, wyznaczonej przez normy (zał. 3, II.D3. 52). Przekroczenie norm stwierdzono w przypadku zanieczyszczeń organicznych. Również badania nad energetycznym wykorzystaniem drewna wierzbowego (zał. 3, II.D3. 63) wykazały, że proces ten nie jest obojętny dla środowiska.

Szeroko dostępnym rodzajem biomasy, szczególnie na obszarach wiejskich, jest słoma. Moje badania nad jej energetycznym wykorzystaniem dotyczyły przydatności do granulacji, termochemicznego wykorzystania w postaci brykietów (zał. 3, II.A. 2) i peletów (zał. 3, II.A. 3), a także beli cylindrycznych i prostopadłościennych (zał. 3, II.D3. 43, 57). Wyniki badań upowszechniałam nie tylko w postaci artykułów naukowych, ale też popularnonaukowych, publikowanych w branżowych czasopismach, docierających do

szerokiej grupy odbiorców, którzy mogą opisywane rozwiązania stosować w praktyce (zał. 3, III.I6. 41, 46, 75, 88).

Idea gospodarki o obiegu zamkniętym (*circle economy*), zakłada racjonalne wykorzystanie produktów ubocznych i odpadów, minimalizując ilość odpadów deponowanych na składowiskach. Jednym ze sposobów realizacji tej idei jest energetyczne zagospodarowanie tych surowców, które nie znajdują innego zastosowania. W swoich badaniach oceniałam przydatność do energetycznego wykorzystania odpadów z sektora rolno-spożywczego i komunalnego (zał. 3, II.A. 1; II.D3. 32, 46; II.D2. 36; III.I6. 72, 95; III.I4. 2), produktów ubocznych z uprawy i przetwórstwa pszenicy (zał. 3, II.D3. 56), buraka cukrowego (zał. 3, II.D3. 64, 66), a także ziarna zbóż, pod warunkiem spełnienia wymogów przepisów, dotyczących energetycznego wykorzystania biomasy (zał. 3, III.B. 35; III.I6. 39, 45, 49). Na podstawie badań można stwierdzić, że rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy generuje duże ilości odpadów i produktów ubocznych, które mogą znaleźć zastosowanie do produkcji energii w procesach termochemicznych i biochemicznych. Surowce te często są bardziej problematyczne w porównaniu z biomasą z upraw celowych: są niejednorodne, mogą zawierać substancje niepożądane, wymagać wstępnego przygotowania.

Biomasa jest najważniejszym, ale nie jedynym odnawialnym źródłem energii w Polsce. Inne, abiotyczne OZE, znajdują często wykorzystanie w miejscach, które są szczególnie korzystne dla ich lokalizacji, np. położonych z dala od linii energetycznych lub dla których wytwarzanie „zielonej” energii ma znaczenie nie tylko ekonomiczne, ale też wizerunkowe. Przykładem są obiekty turystyczne, które były tematem moich badań (zał. 3, II.D3. 74; II.D2. 34; III.B. 32, 90, 91; III.I6. 51), użytkujące głównie instalacje fotowoltaiczne i kolektory słoneczne. Kolejnym źródłem energii, o mniejszym znaczeniu w Polsce, jest hydroenergetyka, której rozwój ograniczany jest przez przepisy dotyczące ochrony środowiska. W badaniach, których wyniki zostały opublikowane w artykułach naukowych (zał. 3, II.D3. 73, 76), materiałach konferencyjnych (zał. 3, III.B. 64, 75, 80, 86), a także artykułach popularnonaukowych (zał. 3, III.I6. 28), oceniano techniczne i prawne możliwości lokalizacji małych elektrowni wodnych na wybranych rzekach Lubelszczyzny. Stwierdzono, że mimo istnienia pewnego potencjału energii, realizacja inwestycji na istniejących budowach hydrotechnicznych, lub budowa nowych, jest ograniczona przez procedury wynikające z obwarowań prawnych.

Oprócz zagadnień technicznych związanych z wykorzystaniem OZE, w badaniach poruszałam aspekty prawne, społeczne i ekonomiczne produkcji energii ze źródeł odnawialnych (zał. 3, II.D3. 28, 31, 67; II.D2. 33; III.B. 19, 22, 25, 34, 49; III.I6. 94, 99;

II.D5. 1, 2, 4). Analizowałam też wpływ polityki różnych szczebli: globalnej, europejskiej i lokalnej na rozwój tej dziedziny gospodarki (zał. 3, II.D3. 23, 42; II.D2. 10, 15, 20; III.B. 50; III.I6. 11, 14, 50, 52, 53, 117; II.D5. 6). Skala produkcji energii z OZE okazuje się być bardzo silnie zależna od otoczenia prawnego i społecznego, gdyż z jednej strony za ich rozwojem przemawiają międzynarodowe zobowiązania i krajowe strategie, z drugiej zaś strony skomplikowane, często zmieniające się przepisy prawa, szczególnie polskiego, znacząco ograniczają ten rozwój.

#### **Ad. 6. Przydatność różnych gatunków roślin wieloletnich do zastosowania w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków**

Efekt środowiskowy wykorzystania odnawialnych źródeł energii polega głównie na zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych oraz innych niepożądanych substancji do atmosfery. Jednakże działalność człowieka prowadzi do zanieczyszczenia również innych elementów środowiska. Rośnie zaniepokojenie stanem wód, zarówno podziemnych, jak i powierzchniowych, do pogorszenia którego przyczynia się m.in. niewłaściwe gospodarowanie ściekami bytowymi, stwierdzone także w badaniach, w których uczestniczyłam (zał. 3, II.A. 8; II.D3. 70, 78, 82; III.B. 68). Jednym ze sposobów ograniczania tych niekorzystnych zmian jest rozwój systemów kanalizacji, a w przypadku zabudowy rozproszonej – budowa przydomowych oczyszczalni ścieków. W obszarze moich badań znajdują się gruntowo-roślinne oczyszczalnie ścieków, obsadzone różnymi gatunkami roślin wieloletnich. W hydrofitowych oczyszczalniach, projektowanych, budowanych i nadzorowanych przez zespół pracowników mojej jednostki naukowej, zajmuję się doбором roślin do specyficznych warunków panujących na złożach oczyszczalni, opracowaniu zasad ich nasadzania i pielęgnacji (zał. 3, II.D3. 65; II.D2. 35). Badania naukowe obejmują skuteczność funkcjonowania oczyszczalni (zał. 3, II.A. 11), w tym przy zastosowaniu różnych rozwiązań technologicznych (zał. 3, II.A. 6; II.D3. 60), a także postępowania z biomasa po usunięciu ze złoża. Jak wynika z przeprowadzonych badań, racjonalnym sposobem zagospodarowania masy roślinnej, wytworzonej w obrębie oczyszczalni, jest jej wykorzystanie na cele energetyczne (zał. 3, II.A. 4, 10; II.D3. 59; II.D4. 3), zwłaszcza w przypadku większych obiektów. Aktualność tematyki oraz innowacyjność proponowanych rozwiązań sprawiają, że były one często prezentowane na konferencjach w kraju (zał. 3, II.K2) i za granicą (zał. 3, II.K1), gdzie cieszyły się dużym zainteresowaniem. Wyniki prowadzonych badań stanowią podstawę do opracowania licznych koncepcji budowy hydrofitowych oczyszczalni ścieków, realizowanych następnie przez samorządy lokalne,

firmy i indywidualnych użytkowników (zał. 3, III.M. 1-9). Badania parametrów energetycznych biomasy z oczyszczalni hydrofitowych, których wyniki zawarte są w wyżej przywołanych artykułach, łączą moje wcześniejsze doświadczenia, dotyczące oceny właściwości biomasy pochodzącej z rolnictwa, z nowym obszarem pozyskania materiału badawczego, jakim są przydomowe oczyszczalnie ścieków.

### **5.3. Współpraca krajowa i międzynarodowa**

Moja współpraca obejmuje zarówno instytucje naukowe, jak też szeroko pojęte otoczenie: samorządy, biznes i organizacje związane z odnawialnymi źródłami energii. Działalność naukową prowadzę we współpracy z Instytutem Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, które dysponuje największym, nowoczesnym laboratorium biogazowym. Efektem wspólnych badań są publikacje (zał. 3, I.B. 5, 6, 8; II.A. 4; II.D3. 60; II.D4. 1-3), a także zaawansowane kolejne doświadczenia. Z kolei współpraca międzynarodowa z Politechniką w Beja (Portugalia), zainicjowana w 2017 r. dzięki programowi Erasmus+ (zał. 3, III.L), a kontynuowana w ramach miesięcznego stażu w 2018 r., obejmuje badania nad doborem różnych roślin do hydrofitowych oczyszczalni ścieków. Wstępne wyniki wspólnych badań były prezentowane na konferencjach (zał. 3, III.B. 93), a artykuły są przygotowywane do druku.

W ramach współpracy B+R odbyłam 10 staży naukowych, w ramach których opracowywałam innowacyjne rozwiązania problemów, jakie zgłaszali przedsiębiorcy (zał. 3, III.Q1). Staże, finansowane ze środków PO KL, pozwalały też na prowadzenie badań dotyczących analizowanych problemów, a ich efektem były artykuły naukowe i popularno-naukowe, publikowane wspólnie z przedsiębiorcami (zał. 3, II.D3. 45, 46, 50, 53, 73; III.I6. 86, 87, 89, 91, 94, 95, 97, 102, 105). Odbyte staże pozwoliły mi zapoznać się z funkcjonowaniem przedsiębiorstw, a nabytą wiedzę i umiejętności przekazuję w mojej pracy dydaktycznej.

Współpracuję też z samorządami różnego szczebla: z urzędami gmin, powiatów i województw. Byłam członkiem zespołu, który na zlecenie samorządów (i związków gmin) opracowywał ekspertyzy, dotyczące odnawialnych źródeł energii (zał. 3, II.E). Prowadziłam też konsultacje społeczne dotyczące budowy biogazowni w 5 gminach woj. lubelskiego, a także kampanie informacyjne, które miały na celu upowszechnianie wiedzy i wzrost świadomości społecznej na temat OZE. Dwa cykle otwartych spotkań, dotyczących wytwarzania biogazu i zagospodarowania jego produktów, kierowanych do mieszkańców terenów wiejskich w niemal wszystkich województwach w kraju, przeprowadziłam w ramach

programów (zał. 3, III.A. 16, 17), realizowanych przez Fundację na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (FDPA), z którą utrzymuję wieloletnią współpracę. Z kolei stała współpraca z Fundacją Rozwoju Lubelszczyzny zaowocowała udziałem w programach „Energetyczni kreatorzy zmian” i „EmpInno”, wspomagającymi rozwój różnych technologii produkcji energii ze źródeł odnawialnych (zał. 3, III.A. 11, 20). Moje zaangażowanie w tematykę OZE oraz wiedza na temat właściwości biomasy i technologii jej energetycznego wykorzystania, są też przydatne we współpracy z Ośrodkami Doradztwa Rolniczego. Na zlecenie wielu z nich prowadziłam szkolenia, prelekcje i warsztaty dla rolników, a także samych pracowników ODR-ów i CDR. Prowadziłam też szkolenia dla pracowników innych instytucji: Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Lublinie, Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych, Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Jako specjalistka z zakresu produkcji biogazu oraz budowy i funkcjonowania biogazowni rolniczych, byłam dwukrotnie powołana przez sądy jako biegły *ad hoc* w sprawach związanych z tematyką budowy biogazowni (zał. 3, II.E. 23, 24). Brałam też udział w konsultacjach społecznych, dotyczących projektów budowy biogazowni, gdzie na zlecenie przedsiębiorstw wyjaśniałam lokalnym społecznościom podstawy produkcji biogazu, a także szanse i zagrożenia związane z potencjalną lokalizacją biogazowni na danym terenie.

#### **5.4. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska**

Jako pracownik naukowo-dydaktyczny prowadzę zajęcia ze studentami studiów stacjonarnych i niestacjonarnych I i II<sup>o</sup>. Większość prowadzonych przeze mnie przedmiotów związana jest z zainteresowaniami naukowymi: dotyczy odnawialnych źródeł energii i produkcji roślinnej (zał. 3, III.I1). Tej tematyki dotyczą też prace dyplomowe, wykonywane pod moim kierunkiem; dotychczas byłam promotorem 67 prac magisterskich i 69 prac inżynierskich. Byłam też promotorem pomocniczym w dwóch zakończonych przewodach doktorskich, zaś trzeci jest w trakcie realizacji (zał. 3, III.K).

Moim szczególnym osiągnięciem na polu dydaktycznym było opracowanie programu i utworzenie studiów podyplomowych Odnawialne Źródła Energii oraz kierowanie nimi w latach 2009-2015. Jedna z edycji tych studiów, w odpowiedzi na zapotrzebowanie rynku pracy, została dostosowana do wymagań stawianych nauczycielskim studiom kwalifikacyjnym, co umożliwiło zdobycie wymaganej wiedzy i umiejętności nauczycielom, uczącym przedmiotów związanych z OZE.

Działalność popularyzatorska obejmuje prowadzenie licznych szkoleń (zał. 3, III.A) i prezentacji w ramach warsztatów i konferencji technicznych (zał. 3, III.I5), a także wykłady

zamawiane przez inne jednostki naukowe (zał. 3, III.I3). Aby przekazywać wiedzę jak najbardziej efektywnie, doskonalam swój warsztat dydaktyczny, uczestnicząc w profesjonalnych szkoleniach (zał. 3, III.Q5). Udział w projekcie „Nauka dla Gospodarki – efektywne zarządzanie badaniami naukowymi i komercjalizacja wyników prac badawczych”, umożliwił mi zapoznanie się z nowoczesnymi metodami dydaktycznymi, stosowanymi w kilku uczelniach w Finlandii, zaś miesięczne staże w Politechnice w Beja oraz Państwowym Uniwersytecie Rolniczym w Dublinach (Ukraina) pozwoliły poznać programy studiów o zbliżonej tematyce, realizowanych w tych uczelniach.

Oprócz przekazu bezpośredniego, regularnie przygotowuję artykuły popularno-naukowe, które są publikowane w czasopismach branżowych (np. „Czysta Energia”, „Agroenergetyka”) i kierowanych do rolników (zał. 3, III.I6). Szczególne znaczenie miały artykuły dotyczące produkcji biogazu, dzięki którym starałam się popularyzować tę technologię zmniejszając niechęć społeczną, jaka jest obserwowana w Polsce od początku wdrażania technologii, a głównym powodem protestów społecznych jest brak wiedzy na ten temat.

## **6. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego**

Efektem mojej działalności naukowej jest opublikowanie 366 prac, z czego 137 to oryginalne prace twórcze, opublikowane jako: monografie (2), rozdziały w monografiach (36), artykuły w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports JCR (14), materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazie Web of Science (3), a także recenzowanych czasopismach nie posiadających IF (82). Suma punktów za publikacje (wg roku opublikowania) wynosi 1044 (955 poza publikacjami wchodzącymi w skład osiągnięcia naukowego). Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi 22,861 (21,742 poza publikacjami wchodzącymi w skład osiągnięcia).

Indeks Hirscha opublikowanych prac zarówno według bazy Web of Science, jak i Scopus wynosi **5** (na dzień 11.03.2019 r.). Liczba cytowań publikacji (na dzień 11.03.201 r.) wynosi: według bazy Web of Science: **110** (z pominięciem autocytowań – 76); według bazy Scopus: **67** (bez autocytowań – 48). Wg bazy WoS prace, których jestem autorką lub współautorką, były cytowane w 69 publikacjach (w 57 bez artykułów własnych).

Tabela 1. Liczbowe zestawienie dorobku naukowego

| Rodzaj publikacji               | Język | Przed doktoratem |           |           | Po doktoracie |            |            | Łącznie    |
|---------------------------------|-------|------------------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|------------|
|                                 |       | indywidualne     | zbiorowe  | łącznie   | indywidualne  | zbiorowe   | łącznie    |            |
| <b>Oryginalne prace twórcze</b> |       |                  |           |           |               |            |            |            |
| W czasopismach z bazy JCR       | A     | 0                | 0         | 0         | 0             | 7          | 7          | 7          |
|                                 | P     | 0                | 0         | 0         | 1             | 6          | 7          | 7          |
| W innych czasopismach           | A     | 0                | 0         | 0         | 3             | 20         | 23         | 23         |
|                                 | P     | 0                | 14        | 14        | 15            | 30         | 45         | 59         |
| Mat. Conf. Web of Sciences      | A     | 0                | 0         | 0         | 0             | 3          | 3          | 3          |
| Monografie                      | P     | 0                | 0         | 0         | 1             | 1          | 2          | 2          |
| Rozdziały w monografiach        | A     | 0                | 0         | 0         | 1             | 2          | 3          | 3          |
|                                 | P     | 0                | 0         | 0         | 13            | 20         | 33         | 33         |
| <b>Razem – prace oryginalne</b> |       | <b>0</b>         | <b>14</b> | <b>14</b> | <b>34</b>     | <b>89</b>  | <b>123</b> | <b>137</b> |
| <b>Inne prace</b>               |       |                  |           |           |               |            |            |            |
| W materiałach konferencyjnych   | A     | 0                | 3         | 3         | 2             | 21         | 23         | 26         |
|                                 | P     | 0                | 10        | 10        | 26            | 33         | 59         | 69         |
| Prace popularno-naukowe         | P     | 0                | 9         | 9         | 69            | 48         | 117        | 126        |
| Inne                            | P     | 0                | 0         | 0         | 4             | 4          | 8          | 8          |
| <b>Razem – inne prace</b>       |       | <b>0</b>         | <b>22</b> | <b>22</b> | <b>102</b>    | <b>106</b> | <b>207</b> | <b>229</b> |
| <b>Łącznie</b>                  |       |                  | <b>36</b> | <b>36</b> | <b>136</b>    | <b>195</b> | <b>330</b> | <b>366</b> |

Tabela 2. Zestawienie dorobku naukowego z uwzględnieniem wskaźnika IF oraz oceny punktowej MNiSW (w roku opublikowania)

| Nazwa czasopisma   | IF w roku wydania                               | Liczba publikacji | Liczba punktów MNiSW | Sumaryczna liczba punktów MNiSW |
|--|---|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| <b>Czasopisma z IF</b>   |   |                   |                      |                                 |
| Przemysł Chemiczny   | 0,399; 0,399; 0,367; 0,367; 0,367; 0,385; 0,399 | 7                 | 15                   | 105                             |
| Ecological Engineering   | 2,914; 3,023                                    | 2                 | 30; 35               | 65                              |
| Separation and Purification Technology   | 3,927   | 1                 | 45                   | 45                              |
| Applied Ecology and Environmental Research   | 0,721   | 1                 | 15                   | 15                              |
| Agriculture, Ecosystems and Environment  | 3,541   | 1                 | 40                   | 40                              |
| Ecological Indicators  | 3,983   | 1                 | 35                   | 35                              |
| Water  | 2,069   | 1                 | 30                   | 30                              |
| <b>Razem</b>   | <b>22,861</b>                                   | <b>14</b>         | <b>-</b>             | <b>335</b>                      |
| <b>Materiały konferencji indeksowane w bazie Web of Sciences</b>   |   |                   |                      |                                 |
| Energy And Clean Technologies Conference Proceedings, SGEM 2016  |   | 1                 | 15                   | 15                              |
| 3rd International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics, Porto, Portugal |   | 2                 | 15                   | 30                              |
| <b>Razem</b>   |   | <b>3</b>          | <b>-</b>             | <b>45</b>                       |



| Pozostałe czasopisma recenzowane   |            |                          |             |
|--|------------|--------------------------|-------------|
| Annales UMCS   | 2          | 2; 4                     | 6           |
| Bibliotheca Fragmenta Agronomica   | 2          | 4                        | 8           |
| Fragmenta Agronomica   | 2          | 4                        | 8           |
| Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu                                     | 2          | 1                        | 2           |
| Rośliny Oleiste  | 1          | 2                        | 2           |
| Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych                                | 4          | 3 x 3; 6                 | 15          |
| Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin                   | 2          | 2                        | 4           |
| Żywność Nauka Technologia Jakość   | 1          | 3                        | 3           |
| Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie                              | 2          | 1; 3                     | 4           |
| Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu                   | 1          | 6                        | 6           |
| Pamiętnik Puławski   | 4          | 2; 5; 5; 6               | 18          |
| Chemia i Inżynieria Ekologiczna/Ecological Chemistry and Engineering       | 2          | 4; 7                     | 11          |
| Electronic Journal of Polish Agricultural Universities                     | 1          | 5                        | 5           |
| Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin                          | 1          | 4                        | 4           |
| Proceedings of ECOpole   | 1          | 4                        | 4           |
| Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu        | 12         | 1; 1; 3 x 4; 6; 6; 5 x 7 | 61          |
| Studia Regionalne/Central & Eastern Europe Regional Studies                | 1          | 3                        | 3           |
| Koszalińskie Studia i Materiały  | 1          | 3                        | 3           |
| Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe                                 | 1          | 4                        | 4           |
| Zeszyty Naukowe Południowo-Wschodniego Oddziału PTIE i PTG w Rzeszowie     | 2          | 2                        | 4           |
| Zeszyty Naukowe SGGW / Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW | 2          | 6; 14                    | 20          |
| Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe                    | 6          | 6; 5 x 4                 | 26          |
| Problemy Inżynierii Rolniczej  | 2          | 6; 4                     | 10          |
| Ekonomia i Środowisko  | 1          | 5                        | 5           |
| TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa                            | 2          | 6                        | 12          |
| Combustion Engines / Silniki Spalinowe                                     | 1          | 6                        | 6           |
| Gaz, Woda i Technika Sanitarna   | 1          | 5                        | 5           |
| Logistyka  | 5          | 5 x 10                   | 50          |
| Barometr Regionalny  | 3          | 8; 8; 14                 | 30          |
| Mechanik   | 1          | 11                       | 11          |
| Journal of Ecological Engineering  | 9          | 9 x 12                   | 108         |
| Economic and Regional Studies  | 2          | 9                        | 18          |
| Journal of Water and Land Development                                      | 1          | 14                       | 14          |
| Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie   | 1          | 10                       | 10          |
| <b>Razem</b>   | <b>82</b>  | <b>-</b>                 | <b>498</b>  |
| Monografie i rozdziały w monografiach                                      |            |                          |             |
| Monografie   | 2          | 20                       | 40          |
| Rozdziały w j. angielskim  | 3          | 2 x 8; 5                 | 21          |
| Rozdziały w j. polskim   | 33         | 14 x 2; 18 x 4; 5        | 105         |
| <b>Razem</b>   | <b>38</b>  | <b>-</b>                 | <b>166</b>  |
| <b>Łącznie</b>   | <b>137</b> | <b>-</b>                 | <b>1044</b> |