

**Biorafineria lignocelulozowa  
– uwarunkowania środowiskowe,  
energetyczne  
i społeczno-ekonomiczne**



Praca wchodzi w skład monograficznej serii wydawniczej, wydanej w ramach Programu Strategicznego Zadanie Badawcze Nr 4 pt.: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” koordynowanego przez Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN w Gdańsku i realizowanego w ramach umowy nr SP/E/4/65786/10 zawartej z NCBiR

# **Biorafineria lignocelulozowa – uwarunkowania środowiskowe, energetyczne i społeczno-ekonomiczne**

pod redakcją  
**Mariusza Stolarskiego  
i Janusza Gołaszewskiego**



Kolegium Wydawnicze UWM  
Przewodniczący  
ZBIGNIEW CHOJNOWSKI

Recenzenci  
Anna Grzybek, Eugeniusz Chyłek

Zespół autorów  
Aleksander Bauknecht, Zbigniew Brodziński, Paweł Buczyński, Ireneusz Cymes,  
Stanisław Czachorowski, Judyta Gencza, Łukasz Głowacki, Michał Krzykowski,  
Michał Krzyżaniak, Alicja Kurzątkowska, Natalia Machałek, Michał Mariański,  
Ewelina Olba-Zięty Joanna Pakulnicka, Angela Potasznik, Jerzy A. Przyborowski,  
Izabela Samson-Bręk, Barbara Smerkowska, Mariusz J. Stolarski, Paweł Sulima,  
Stefan Szczukowski, Sławomir Szymczyk, Ilona Świtajska, Józef Tworkowski,  
Jakub Jan Zięty

Redaktorzy naukowci  
Mariusz Stolarski, Janusz Gołaszewski

Opracowanie wydawnicze  
Elżbieta Pietraszkiewicz

Przygotowanie okładki  
Adam Głowacki  
na podstawie projektu Mirosława Sawczaka

Skład i łamanie  
Ryszard Gliński

**ISBN 978-83-7299-962-7**

© Copyright by Wydawnictwo UWM • Olsztyn 2015

Wydawnictwo UWM  
ul. Jana Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn  
tel. 89 523-36-61, fax 89 523-34-38  
[www.uwm.edu.pl/wydawnictwo/](http://www.uwm.edu.pl/wydawnictwo/)  
e-mail: [wydawca@uwm.edu.pl](mailto:wydawca@uwm.edu.pl)

---

Ark. wyd. 12,2; ark. druk. 10,5  
Druk: Zakład Poligraficzny UWM w Olsztynie, zam. 526

## Spis treści

Od Redakcji .....	9
<b>Rozdział 1.</b> <i>Wykorzystanie markerów molekularnych w hodowli wysokoprodukcyjnych odmian wierzby</i> (Paweł Sulima, Jerzy A. Przyborowski)	11
1. Markery molekularne w hodowli roślin .....	12
2. Przegląd najważniejszych systemów opartych na markerach molekularnych	14
2.1. Izoenzymy .....	15
2.2. Markery RFLP (ang. <i>Restriction Fragment Length Polymorphism</i> ) .....	16
2.3. Markery RAPD (ang. <i>Randomly Amplified Polymorphic DNA</i> ) .....	17
2.4. Markery AFLP (ang. <i>Amplified Fragment Length Polymorphism</i> ) .....	18
2.5. Markery SSR (ang. <i>Simple Sequence Repeats</i> ) .....	19
2.6. Markery DART (ang. <i>Diversity Arrays Technology</i> ) .....	20
2.7. Markery SNP (ang. <i>Single Nucleotide Polymorphism</i> ) .....	21
3. Markery molekularne w hodowli wierzby .....	23
Piśmiennictwo .....	28
<b>Rozdział 2.</b> <i>Dendromasa pozyskana z gruntów rolniczych jako surowiec energetyczny i przemysłowy</i> (Mariusz J. Stolarski, Michał Krzyżaniak, Stefan Szczukowski, Józef Tworowski)	35
1. Wstęp .....	36
2. Materiał i metody .....	38
2.1. Charakterystyka stanowiska glebowego .....	38
2.2. Założenie i prowadzenie eksperymentu .....	39
2.3. Pomiar biometryczne i określenie plonowania .....	40
2.4. Pozyskanie dendromasy do analiz laboratoryjnych .....	41
2.5. Badania laboratoryjne .....	41
2.6. Analiza statystyczna .....	42
3. Wyniki .....	42
3.1. Warunki klimatyczne .....	42
3.2. Przeżywalność, cechy biometryczne oraz stan zdrowotny roślin .....	44
3.3. Plonowanie roślin .....	49
3.4. Właściwości termofizyczne biomasy .....	54
3.5. Właściwości chemiczne biomasy .....	54
4. Dyskusja .....	59
5. Podsumowanie .....	64
Piśmiennictwo .....	65

<b>Rozdział 3.</b> <i>Wstępne badania nad różnorodnością biologiczną wewnątrz i wokół plantacji wierzby w Łężanach i Samławkach (Stanisław Czachorowski, Judyta Gencza, Paweł Buczyński, Joanna Pakulnicka, Natalia Machalek, Łukasz Głowacki, Alicja Kurzątkowska)</i> .....	69
1. Wstęp .....	70
2. Materiał i metody .....	71
3. Wyniki .....	71
4. Dyskusja .....	82
5. Podsumowanie .....	84
Piśmiennictwo .....	84
<b>Rozdział 4.</b> <i>Dynamika stanów oraz stężeń składników w wodach gruntowych w warunkach uprawy wierzby na cele energetyczne (Sławomir Szymczyk, Ilona Świtajska, Angela Potasznik, Ireneusz Cymes)</i> .....	87
1. Wstęp .....	88
2. Metody badań .....	89
3. Wyniki i dyskusja .....	91
3.1. Pokrycie potrzeb wodnych .....	91
3.2. Wpływ uprawy wierzby na jakość wód gruntowych .....	92
4. Podsumowanie .....	99
Piśmiennictwo .....	100
<b>Rozdział 5.</b> <i>Środowiskowa ocena cyklu życia otrzymywania bioetanolu z surowców lignocelulozowych (Izabela Samson-Bręk, Barbara Smerkowska)</i> ..	103
1. Wstęp .....	104
2. Cel i zakres analizy .....	104
2.1. Etap rolniczy .....	105
2.2. Etap technologiczny .....	107
3. Metodyka .....	108
4. Wyniki .....	109
4.1. Etap rolniczy .....	109
4.2. Porównanie upraw energetycznych z uprawą kukurydzy i żyta .....	113
4.3. Etap technologiczny .....	116
4.4. Kalkulacja emisji GHG .....	119
5. Podsumowanie .....	121
Piśmiennictwo .....	122
<b>Rozdział 6.</b> <i>Możliwości wdrażania efektywnych systemów produkcji energii z wykorzystaniem biomasy z produkcji rolniczej (Zbigniew Brodziński)</i> ..	123
1. Wstęp .....	124
2. Uwarunkowania produkcji biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych .....	125

---

3. Uwarunkowania związane z przetwórstwem biomasy na cele energetyczne . .	129
4. Uwarunkowania realizacji celów polityki energetycznej w skali lokalnej . . . .	133
5. Podsumowanie . . . . .	137
Piśmiennictwo . . . . .	138
<b>Rozdział 7. Prawne aspekty wspierania funkcjonowania biorafinerii w Polsce i niektórych państwach UE</b> (Jakub Jan Zięty, Michał Krzykowski, Michał Mariański, Aleksander Bauknecht, Ewelina Olba-Zięty) . .	
1. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii w Polsce – stan aktualny . . . . .	140
1.1. Wprowadzenie . . . . .	140
1.2. Budowa biorafinerii lignocelulozowej . . . . .	141
1.3. Prawne reguły produkcji bioetanolu w Polsce . . . . .	149
1.4. Wsparcie dla produkcji biopaliw w Polsce i wybranych krajach Unii Europejskiej . . . . .	152
2. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii w Republice Federalnej Niemiec	154
2.1. Wprowadzenie . . . . .	154
2.2. Budowa biorafinerii w Republice Federalnej Niemiec . . . . .	155
3. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii we Francji . . . . .	157
3.1. Wprowadzenie . . . . .	157
3.2. Budowa biorafinerii – aspekty proceduralne . . . . .	159
3.3. Produkcja i wsparcie dla bioetanolu we Francji . . . . .	162
4. Podsumowanie . . . . .	164
Piśmiennictwo . . . . .	165





## Od redakcji

Biorafineria jest kluczową instalacją biogospodarki. Integruje źródła surowców biologicznych o takiej samej platformie chemicznej oraz wieloproduktową kaskadę procesów przetwórczych. Produktami biorafinerii są biopaliwa, bioenergia oraz szereg innych bioproduktów. W niniejszej monografii podjęto problem badawczy związany z rozwojem biorafinerii lignocelulozowej i produkcją bioetanolu w aspekcie sfery surowcowej, logistyki oraz uwarunkowań środowiskowych, społeczno-ekonomicznych i prawnych.

Wyjściową przesłanką opracowania monografii było poszukiwanie alternatywnych, środowiskowo neutralnych paliw dla rynku energii oraz rozwój wydajnych technologii produkcji taniego surowca w sposób przyjazny dla środowiska. Rosnące wykorzystanie olejów roślinnych, ziarna zbóż i trzciny cukrowej do produkcji biopaliw ma wymiar lokalny i globalny – z jednej strony sprzyja dywersyfikacji źródeł energii i poprawia bezpieczeństwo energetyczne, z drugiej zaś może skutkować wyczerpywaniem strategicznych zasobów żywnościowych świata. Przeznaczanie tych surowców roślinnych na cele energetyczne może powodować trudności w zbilansowaniu światowego rynku zbóż, roślin paszowych i oleistych. W przypadku produkcji bioetanolu dochodzą do tego oczywiście ograniczenia środowiskowe i ekonomiczne rozwoju technologii produkcji z tradycyjnych źródeł biomasy, kwestionowany wkład tego paliwa w redukcję emisji gazów cieplarnianych, a także mała konkurencyjność cenowa względem benzyny.

Aktualne priorytety rozwojowe rynku biopaliw w Unii Europejskiej i na świecie są zorientowane na wykorzystanie surowca lignocelulozowego, którego naturalnym bogatym źródłem są lasy. Jednakże i w tym przypadku występują ograniczenia ekonomiczne i środowiskowe, wynikające m.in. z długiego czasu niezbędnego do odtworzenia drzewostanu oraz wysokiej wartości przemysłowej drewna, co sprawia, że energetycznie wykorzystuje się głównie pozostałości, zaś ze względów środowiskowych wymienić należy nadrzędną rolę lasu w globalnej cyrkulacji węgla. Stanowi to o kolejnej przesłance badawczej orientującej tematykę monografii nad założeniami technologii produkcji surowca lignocelulozowego z upraw dedykowanych *Salix* sp., *Populus* sp. oraz *Robinia pseudoacacia* L.

Kolejne rozdziały monografii ujęto w dwóch zasadniczych blokach zagadnień. Pierwszy z nich obejmuje: wyniki badań nad nowymi formami biologicznymi wysoko produktywnych roślin lignocelulozowych, technologie uprawy w warunkach niskiej żyzności gleb oraz analizę plantacji z punktu widzenia

zmian w agro- i ekosystemach (bilans wodny, obieg węgla i emisja gazów cieplarnianych, bioróżnorodność). Drugi blok zagadnień dotyczy otoczenia biorafinerii lignocelulozowych, wiąże sferę produkcyjną surowca z biorafinerią i obejmuje wyniki badań nad modelowaniem bazy surowcowej oraz kwestiami logistycznymi, ekonomiczno-społecznymi i prawnymi.

Wyrażamy nadzieję, że prezentowana monografia dobrze koresponduje z aktualnymi trendami badawczymi w zakresie bazy surowcowej biorafinerii lignocelulozowej, a w konsekwencji rozwoju biorafinerii tego surowca i biogospodarki. Warto podkreślić wymiar społeczny prezentowanych wyników badań interdyscyplinarnych. Lokalnie realizowana produkcja roślin lignocelulozowych na gruntach marginalnych oraz wytwarzanie biopaliw drugiej generacji i bioenergii w toku procesów biorafineryjnych są zbieżne z lokalnymi strategiami rozwoju, zakładającymi pobudzanie aktywności społecznej, budowanie samodzielności energetycznej, dywersyfikację dochodów rolniczych oraz zrównoważony rozwój obszarów wiejskich.

*Mariusz Stolarski*  
*Janusz Gołaszewski*

# ROZDZIAŁ 1

## Wykorzystanie markerów molekularnych<sup>1</sup> w hodowli wysokoproduktywnych odmian wierzby

### The use of molecular markers in breeding of highly productive willow varieties

*Paweł Sulima, Jerzy A. Przyborowski*

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: wierzba, *Salix*, hodowla,  
markery molekularne, MAS, QTL.

Key words: willow, *Salix*, breeding, molecular  
markers, MAS, QTL.

#### Streszczenie

Współczesna hodowla roślin w dużej mierze wykorzystuje techniki oparte na analizie markerów DNA, które są stosowane niemal na każdym etapie tworzenia nowej odmiany. Dzięki wysokiej powtarzalności, łatwości i szybkości aplikacji, możliwości oceny niezależnie od wieku i fazy rozwojowej roślin, wpływu środowiska i wielu innych czynników systemy markerowe stały się niezwykle użytecznym narzędziem badawczym. Mogą być stosowane w początkowej ocenie i wyborze odpowiednich materiałów hodowlanych, poprzez właściwy wybór komponentów rodzicielskich do krzyżowania, jak również w selekcji odpowiednich form hodowlanych z wykorzystaniem konkretnych, wcześniej rozpoznanych markerów, sprzężonych najczęściej z istotnymi cechami użytkowymi.

W niniejszym rozdziale scharakteryzowane zostały najważniejsze obecnie systemy oparte na markerach molekularnych ze szczególnym uwzględnieniem markerów DNA. Następnie przedstawiono aktualny stan wykorzystania markerów molekularnych w hodowli wysoko

#### S u m m a r y

Modern plant breeding employs largely techniques based on analysis of DNA markers, which are used at almost every stage of the formation of a new variety. Thanks to the high repeatability, ease and speed of application, and a possibility of evaluation regardless of age and development stage of plants, environmental impact and numerous other factors, marker systems have become an extremely popular research tool. They can be applied in the initial evaluation and selection of suitable breeding materials, the appropriate selection of parental components to be crossed, as well as in selecting appropriate breeding forms with the use of specific, previously identified markers linked mostly with essential functional characteristics.

In this chapter of the monograph the most important modern systems based on molecular markers with particular consideration given to DNA markers, were described. Subsequently, the current state of the use of molecular markers in breeding highly productive willow varieties was presented, and it was demonst-

---

<sup>1</sup> **Marker molekularny** – cząsteczka DNA, RNA białka lub inna cząsteczka biochemiczna, której występowanie lub postać pozwala odróżnić organizmy. *Marker* w języku angielskim oznacza 'znacznik', 'wskaźnik'.

produktywnych odmian wierzby, wykazując, iż faktycznie są one stosowane na wielu etapach nowoczesnej hodowli, dzięki czemu programy hodowlane stają się bardziej efektywne, a poszczególne cykle hodowlane ulegają znacznemu skróceniu. Liczne przykłady identyfikacji dużej liczby QTL-i umożliwiają uwzględnienie selekcji MAS w strategii obecnych i kolejnych programów hodowlanych wierzby energetycznej. Jednakże zakres stosowania selekcji MAS skorelowany jest z postępem wiedzy o genomie danego gatunku, co uzasadnia potrzebę prowadzenia ciągłych badań zmierzających do jak najlepszego poznania genomów gatunków *Salix* wykorzystywanych do celów energetycznych.

rated that they are actually used at many stages of modern breeding, so that breeding programs become more efficient, and individual breeding cycles are significantly reduced. Numerous examples of identification of a large number of QTLs allow for the consideration of MAS in the strategy of current and successive breeding programs of energy willow. However, the scope of MAS is correlated with the progress of knowledge of specific genomes, which justifies the need for continuing research aimed at the best possible understanding of the genomes of *Salix* species used for energy purposes.

## 1. Markery molekularne w hodowli roślin

Współczesna hodowla roślin korzysta w coraz większym zakresie z nowoczesnych osiągnięć biologii molekularnej. Poznanie budowy DNA, wyjaśnienie zasad kodowania informacji genetycznej oraz wzrost poziomu wiedzy na temat struktury genetycznej organizmów na poziomie molekularnym pozwoliło na dynamiczny rozwój wielu metod molekularnych. Obecnie stosowane są one na wielu etapach tworzenia nowej odmiany, dzięki czemu hodowcy nie tylko uzyskują wiedzę o genetycznych uwarunkowaniach zmienności poszczególnych cech, ale także mają możliwość wprowadzenia bardziej obiektywnych kryteriów selekcji i doboru materiału rodzicielskiego. W konsekwencji wykorzystanie technik molekularnych umożliwia wyhodowanie nowej odmiany w zdecydowanie krótszym czasie, niż miało to miejsce przy stosowaniu metod konwencjonalnych.

Techniki oparte na analizie markerów molekularnych, a przede wszystkim markerów DNA<sup>2</sup> stały się jednym z podstawowych narzędzi badawczych wykorzystywanym w hodowli roślin (Collard, Mackill 2008; Jain, Brar 2010; Świtoński, Malepszy 2012). Szerokie zastosowanie systemów markerów molekularnych związane jest z wieloma korzystnymi właściwościami tych metod. Do najważniejszych zaliczyć można wysoką powtarzalność, łatwość i szybkość aplikacji oraz możliwość oceny niezależnie od wieku i fazy rozwojowej roślin, wpływu środowiska bądź innych czynników (Awise 1994, Semagn i in. 2010). Wraz z upływem czasu hodowcy mają do dyspozycji coraz większą liczbę coraz bardziej zaawansowanych systemów markerowych. Tak więc wybór właściwej metody badawczej nie jest sprawą prostą i powinien być uzależniony od

<sup>2</sup> **Marker DNA** – fragment/sekwencja DNA występująca co najmniej w dwóch łatwych do rozróżnienia wersjach (allelach), dziedzicząca się zgodnie z prawami G. Mendla.

postawionego celu hodowlanego, możliwości zapewnienia odpowiedniego stopnia polimorfizmu<sup>3</sup> markerów oraz skali prowadzonych analiz (Schlotterer 2004). Dobre systemy markerowe powinny być w stanie wygenerować dużą liczbę markerów o wysokim poziomie polimorficzności, zaś metoda wykrywalności markerów winna być prosta, szybka oraz zapewniać powtarzalność wyników. Nie bez znaczenia jest w tym przypadku również aspekt ekonomiczny, gdzie koszty detekcji pojedynczych markerów z uwzględnieniem ich informatywności powinny być możliwie jak najniższe (Semagn i in. 2010).

W pracach hodowlanych najczęściej wykorzystywane są systemy oparte na markerach DNA (Collard, Mackill 2008; Jannink i in. 2010). Są one niezwykle użyteczne na wstępnych etapach hodowli, przy ocenie i wyborze odpowiednich materiałów hodowlanych. Za pomocą markerów określana jest m.in. tożsamość gatunkowa bądź genotypowa poszczególnych roślin, stopień ich podobieństwa lub zróżnicowania genetycznego (Awise 1994, Schulman 2007; Sivolap 2013). Wcześniej przeprowadzona analiza zróżnicowania genetycznego materiałów hodowlanych umożliwi trafniejszy wybór komponentów rodzicielskich do krzyżowania. Dobór form rodzicielskich powinien być przeprowadzony w taki sposób, aby uzyskać w potomstwie możliwie szerokie spektrum zmienności, co zwiększa prawdopodobieństwo uzyskania wartościowych pod względem hodowlanym form.

W tradycyjnych metodach hodowlanych selekcja osobników rodzicielskich następnego pokolenia prowadzona była jedynie na podstawie fenotypowania<sup>4</sup>, jednakże obecnie coraz częściej hodowcy opierają swój wybór na analizie wytypowanych genów bądź wręcz kompleksowej ocenie całego genomu<sup>5</sup>, tzw. selekcji genomowej (Collard, Mackill 2008; Heffner i in. 2009; Jannink i in. 2010). Markery DNA umożliwiają również poznanie struktury i organizacji genomów, a nawet konstrukcję markerowych map genomowych. Efektywność oraz precyzję konwencjonalnych metod hodowli roślin można poprawić poprzez selekcję wspieraną markerami – MAS (ang. *Marker Assisted Selection*), czyli selekcję odpowiednich form hodowlanych z wykorzystaniem konkretnych, wcześniej rozpoznanych markerów, najczęściej sprzężonych z istotnymi cechami użytkowymi (Lande, Thompson 1990; Collard, Mackill 2008).

MAS to metoda szczególnie użyteczna, gdy wygenerowane markery są silnie skorelowane z loci<sup>6</sup> cech ilościowych – QTL (ang. *Quantitative Trait Locus*), czyli cech charakteryzujących się zmiennością ciągłą i warunkowanych

<sup>3</sup> **Polimorfizm** – występowanie różnic, np. w materiale genetycznym w postaci różnych form danego genu, pozwalających odróżnić różne organizmy od siebie.

<sup>4</sup> **Fenotypowanie** – ocena organizmów na podstawie fenotypów, czyli cech morfologicznych, anatomicznych, biochemiczno-fizjologicznych.

<sup>5</sup> **Genom** – materiał genetyczny zawarty w podstawowym (haploidalnym) zespole chromosomów danego organizmu.

<sup>6</sup> **Locus (l.mn. Loci)** – miejsce w chromosomie, gdzie zlokalizowany jest gen.

wieloma genami polimerycznymi. Do najważniejszych cech ilościowych zaliczyć należy m.in. plon, zawartość w roślinach ważnych użytkowo składników, podatność lub odporność na różnego rodzaju choroby, szkodniki czy warunki środowiskowe. Są to więc cechy niezwykle istotne z ekonomicznego i gospodarczego punktu widzenia. Pomimo iż identyfikacja QTL-i jest zadaniem o wiele trudniejszym niż identyfikacja cech warunkowanych monogenicznie, w licznych krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych oznaczono w genomach różnych gatunków wiele tysięcy QTL-i ważnych cech użytkowych (Bernardo 2008; Gupta i in. 2010; Bernardo 2013).

Nieco mniejsze znaczenie w strategii programów hodowlanych, ale ważne z praktycznego punktu widzenia ma zastosowanie markerów molekularnych w potwierdzaniu genetycznej czystości nasion bądź jednorodności klonów na każdym z etapów tworzenia nowej odmiany. Ocena tożsamości genotypowej wykorzystywana jest również w ochronie praw autorskich do odmian (Sztuba-Solińska 2005; Sivolap 2013). Podsumowując, systemy markerów molekularnych odgrywają obecnie zasadniczą rolę niemal na wszystkich etapach hodowli nowych odmian, począwszy od właściwego wyboru materiałów hodowlanych poprzez kierowanie poszczególnymi cyklami hodowlanymi aż po wyhodowanie, ocenę oraz ochronę odpowiedniej odmiany.

## **2. Przegląd najważniejszych systemów opartych na markerach molekularnych**

Dynamiczny rozwój wielu dziedzin naukowych, takich jak genetyka, biologia molekularna, biochemia czy biofizyka, połączony z opracowaniem zaawansowanych technik laboratoryjnych i informatycznych, umożliwił wsparcie hodowli nowych odmian precyzyjnymi systemami wykorzystującymi markery molekularne. Na przestrzeni ostatniego półwiecza opracowano wiele rozmaitych rodzajów markerów molekularnych, które różnią się między sobą specyfiką, typem oraz poziomem polimorfizmu. Nie wszystkie znalazły zastosowanie w praktyce hodowlanej, ale część z nich jest niezastąpiona na wielu etapach tworzenia nowej odmiany. Dobre systemy markerowe powinny charakteryzować się jednocześnie wysoką informatywnością, wiarygodnością i aplikacyjnością (Schlotterer 2004; Jain, Brar 2010; Semagn i in. 2010; Sivolap 2013). W niniejszym podrozdziale zostały opisane najważniejsze systemy markerów molekularnych, które wielokrotnie były wykorzystywane w hodowli roślin.

## 2.1. Izoenzymy

Pierwszymi markerami molekularnymi, których początki datuje się na lata pięćdziesiąte ubiegłego wieku, były izoenzymy i izoformy białek (Markert i Möller 1959). Izoenzymy to różne formy enzymów o identycznej aktywności metabolicznej, warunkowane przez różne allele tego samego locus (allozymy) bądź wielu loci genowych (izoenzymy). Stały się one użytecznym narzędziem w hodowli roślin, gdyż dziedziczą się zgodnie z prawami Mendla oraz są kodominujące (Tanksley 1983; Hamrick i in. 1990). Niewątpliwą ich zaletą jest również fakt, iż można je identyfikować za pomocą prostej i taniej metody, jaką jest elektroforeza. Ten typ markerów znalazł zastosowanie w badaniach nad strukturą genetyczną populacji roślin, szacowaniu stopnia heterozygotyczności i polimorfizmu, określaniu podobieństwa genetycznego oraz potwierdzaniu tożsamości genotypowej lub mieszańcowości materiałów hodowlanych. Przede wszystkim jednak analiza polimorfizmu izoenzymatycznego umożliwiła wyjaśnienie dziedzicznego podłoża wielu enzymów i białek spełniających istotne funkcje w roślinie (Tanksley 1983; Weeden 1989).

Konkretnym przykładem wykorzystania izoenzymów jest m.in. identyfikacja dużej grupy genów, która determinuje wytwarzanie h-amylazy – enzymu odpowiedzialnego za hydrolizę skrobi w czasie kiełkowania ziarna zbóż (Masojć 2005). Kolejnym przykładem są badania nad wprowadzeniem do hodowli pomidora markera Rex-1, sprzężonego z odpornością na nicienie (Williamson i in. 1994). W szerokim zakresie izoenzymy sprawdziły się także w badaniach drzew gatunków iglastych, których nasiona zawierają haploidalną tkankę megagametofitu, dzięki czemu możliwe jest określenie genotypu ojcowskiego. Dzięki badaniom izoenzymatycznym możliwe jest określenie poziomu samozapłodnienia roślin bądź stopnia zanieczyszczenia plantacji nasiennych obcym pyłkiem (Burczyk 1998). Należy również wyróżnić pionierskie na świecie badania przeprowadzone po raz pierwszy w Polsce, w których udowodniono wpływ zanieczyszczeń środowiska na strukturę genetyczną populacji drzew leśnych (Mejnartowicz 1983).

Rozwój nowych systemów opartych na markerach DNA spowodował, iż w ostatnim czasie zmalało znaczenie badań izoenzymatycznych. Związane jest to głównie z faktem, iż metoda izoenzymatyczna, pomimo wielu niepodważalnych zalet, takich jak niski koszt, łatwość i szybkość przeprowadzanych analiz, posiada jednak pewne ograniczenia. Do ograniczeń tych zaliczyć należy niski poziom polimorfizmu białek enzymatycznych oraz konieczność opracowywania dla każdego enzymu odrębnej metodyki rozdziału, barwienia lub ekstrakcji. Ze względu na te właściwości izoenzymy nie sprawdziły się m.in. w badaniach nad całościową charakterystyką genomów roślinnych oraz w konstruowaniu map genetycznych (Masojć 2005; Sabor 2006).

## 2.2. Markery RFLP (ang. *Restriction Fragment Length Polymorphism*)

Opracowanie systemu opartego na markerach RFLP okazało się momentem przełomowym w badaniach wykorzystujących markery molekularne (Smith, Welcox 1970; Danna, Nathans 1971; Roberts, Murray 1976). Przez wiele lat była to jedna z najważniejszych metod stosowanych w analizach materiału genetycznego wielu organizmów żywych. W technice RFLP analizowany jest polimorfizm długości fragmentów restrykcyjnych DNA bez stosowania reakcji PCR. Zróznicowanie markerów RFLP wynika przede wszystkim z mutacji miejsc restrykcyjnych, co przekłada się na długość analizowanych fragmentów. Powszechność stosowania tej metody związana jest głównie z możliwością wykrywania polimorfizmu w licznych fragmentach DNA przy stosowaniu jednolitej procedury badawczej. Cechują się one wysoką powtarzalnością oraz kodominacyjnym charakterem, dzięki czemu pozwalają odróżnić układ heterozygotyczny od homozygotycznego. Technika RFLP jest z powodzeniem stosowana do konstrukcji map genetycznych, w badaniach taksonomicznych i filogenetycznych oraz do detekcji różnych rodzajów cytoplazmatycznej sterylności męskiej (Roberts, Murray 1976; Roberts 2005; Masojć 2005).

Markery RFLP znalazły zastosowanie przede wszystkim w mapowaniu genomów wielu rozmaitych gatunków roślin – od dziko rosnących aż po rośliny uprawne (Burr i in. 1983; Tanksley i in. 1989; Ragot, Hoisington 1993). Swoją przydatność potwierdziły także w detekcji QTL-i oraz w identyfikacji genów odpowiedzialnych za ważne cechy użytkowe, takie jak geny warunkujące reakcje adaptacyjne drzew do zmiennych warunków środowiska – niska temperatura i stres wodny (Brown i in. 2003; González-Martínez i in. 2006). Identyfikacja genów odpowiedzialnych za cechy ważne gospodarczo i użytkowo ma m.in. ogromne znaczenie w selekcji i hodowli leśnego materiału rozmnożeniowego (Szypl-Borowska 2005).

Obok wielu niewątpliwych zalet przypisywanych metodzie RFLP nie jest ona oczywiście metodą idealną. Przede wszystkim do identyfikacji markerów RFLP stosowana jest złożona, pracochłonna i kosztowna procedura, dodatkowo obciążona pewnymi ograniczeniami. Badany za pomocą metody RFLP DNA powinien być dobrze oczyszczony, nieuszkodzony oraz pobrany w równej ilości dla każdej z analizowanych form. Technika Southerna do identyfikacji określonego fragmentu DNA wymaga zastosowania w badanym materiale niebezpiecznych dla zdrowia radioaktywnych znakowań sond molekularnych (Roberts 2005; Masojć 2005; Sztuba-Solińska 2005). W związku z powyższym technika RFLP jest obecnie niejednokrotnie zastępowana przez inne, bardziej nowoczesne metody, aczkolwiek liczba publikacji opisujących badania z za-



stosowaniem tego typu markerów jest w dalszym ciągu imponująca, co tylko potwierdza ich wysoką użyteczność (Pinto i in. 2010; Panigrahi i in. 2011; Sanz i in. 2013; Feng i in. 2013).

### **2.3. Markery RAPD (ang. *Randomly Amplified Polymorphic DNA*)**

Kamieniem milowym w rozwoju technik molekularnych okazało się opracowanie reakcji łańcuchowej polimerazy (PCR). Metoda PCR, opracowana w 1983 r. przez Kary'ego Mullisa, umożliwia namnożenie DNA bądź jego określonych fragmentów do wręcz nieskończonej liczby kopii (Mullis, Faloona 1987; Mullis i in. 1992). Reakcja PCR jest obecnie podstawową i jedną z najważniejszych technik stosowanych w laboratoriach wykonujących analizy molekularne. Również większość systemów markerowych oparta jest właśnie na reakcji PCR.

Jednym z częściej stosowanych systemów markerowych wykorzystujących PCR jest metoda RAPD, w której analizowany jest polimorfizm losowo amplifikowanych fragmentów DNA (Williams i in. 1990; Welsh, McClelland 1990). System RAPD umożliwia równoczesną detekcję polimorfizmu wielu loci w całym genomie bez konieczności znajomości sekwencji analizowanego DNA. Głównymi zaletami RAPD jest łatwość wykonania, szybkość przeprowadzanych analiz, niski koszt analizy, niewielkie wymagania sprzętowe, a także niewielka ilość DNA potrzebna do zastosowania tej metody. Wszystkie te właściwości uczyniły z RAPD metodę bardzo użyteczną i popularną, która w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku stała się jedną z najczęściej używanych technik w analizach DNA i jednocześnie alternatywą dla bardziej czasochłonnej i kosztownej techniki RFLP (Rafalski, Tingey 1993; Ragot, Hoisington 1993; Schlotterer 2004). Obecnie metoda RAPD może być z powodzeniem stosowana w ocenie podobieństwa i zróżnicowania genetycznego, określaniu tożsamości gatunkowej i genotypowej, badaniach filogenetycznych oraz w mniejszym stopniu w mapowaniu bądź identyfikacji sprzężeń markerów z cechami użytkowymi roślin (Przyborowski, Sulima 2010; Sulima, Przyborowski 2010b; Joshi i in. 2013).

Przykłady zastosowania techniki RAPD są bardzo liczne i przede wszystkim związane z oceną zróżnicowania genetycznego wielu rozmaitych organizmów. Z innych obszarów zastosowania markerów RAPD wyróżnić można m.in. lokalizację loci warunkujących odporność na rdzę wielu gatunków roślin (Haley i in. 1993; Villar i in. 1996; Robert i in. 1999; Junghans i in. 2003) czy identyfikację markerów specyficznych dla danej płci roślin dwupiennych (Alstrom-Rapaport i in. 1998; Paolucci i in. 2010). W konstrukcji map genetycznych,

ze względu na niski koszt analizy i prostą metodykę, markery RAPD spełniają najczęściej rolę uzupełniającą, stosowane są obok innych bardziej informatywnych systemów markerowych (AFLP, SSR, RFLP).

Markery RAPD charakteryzują się nieco słabszą powtarzalnością w porównaniu z innymi typami markerów (Jones i in. 1997), jednakże przy zachowaniu odpowiednich procedur powtarzalność analiz RAPD może być na wysokim poziomie (Penner i in. 1993). Warto również zaznaczyć, iż metoda RAPD wykrywa jedynie loci o charakterze dominującym, co oznacza, że za pomocą tej techniki nie jest możliwe rozróżnienie homozygot dominujących od heterozygot (Fritsch, Rieseberg 1996). Pewnym ograniczeniem jest także błędne identyfikowanie różnych markerów RAPD o takim samym ciężarze cząsteczkowym jako ten sam marker. Pomimo pewnych ograniczeń, analizy RAPD stanowią bardzo użyteczne narzędzie badawcze, które może być wykorzystane na wielu etapach tworzenia nowej odmiany.

## **2.4. Markery AFLP (ang. *Amplified Fragment Length Polymorphism*)**

Systemem markerów łączącym w sobie zalety dwóch poprzednio opisanych systemów (RFLP i RAPD) jest metoda AFLP, która umożliwia analizę polimorfizmu długości amplifikowanych fragmentów (Vos i in. 1995). Podobnie jak w przypadku metody RAPD, identyfikuje ona markery o charakterze dominującym, wykorzystując reakcję PCR oraz trawienie genomu enzymami restrykcyjnymi, co z kolei ma miejsce przy identyfikacji markerów RFLP. Głównymi zaletami metody AFLP jest duża rozdzielczość, powtarzalność wyników, krótki czas oraz automatyzacja przeprowadzanej analizy. System ten nie wymaga też dużej ilości DNA do analizy ani uprzedniej wiedzy na temat analizowanych sekwencji. Markery AFLP są z powodzeniem stosowane w zdecydowanej większości opisywanych wcześniej obszarów analiz molekularnych, począwszy od oceny zróżnicowania genetycznego, a na konstrukcji map genetycznych i identyfikacji QTL-i kończąc (Breyne i in. 1997; Mueller, Wolfenbarger 1999; Meudt, Clarke 2007).

Technika AFLP jest wyjątkowo często stosowana w tworzeniu map genetycznych i szczególnie użyteczna do szybkiego zagęszczania nowo tworzonych map (Cervera i in. 2001; Zhang i in. 2004). Kolejne przykłady zastosowania markerów AFLP to: identyfikacja odmian hodowlanych, badania nad zróżnicowaniem genetycznym wielu gatunków, w tym również w obrębie i pomiędzy populacjami (Breyne i in. 1997; Mueller, Wolfenbarger 1999). Możliwość wykrycia dużej liczby polimorficznych loci w pojedynczej analizie sprawia, iż metoda AFLP jest używana do fingerprintingu DNA (Mueller, Wolfenbarger

1999). Również wszelkie badania dotyczące systematyki, powiązań filogenetycznych czy pochodzenia geograficznego genotypów oparte są w szerokim zakresie na markerach AFLP (Després i in. 2003; Cervera i in. 2005).

W przypadku identyfikacji markerów AFLP ograniczeniem są wysokie wymagania sprzętowe, gdyż obecnie do rozdziału produktów AFLP oraz odczytu danych wykorzystuje się kosztowny sekwenator. Istnieje też przestarzała metoda, w której produkty rozdzielano na żelach poliakrylamidowych i wizualizowano za pomocą barwienia srebrem lub autoradiografii, jednak obecnie jest ona stosowana bardzo rzadko. Metoda AFLP jest co prawda metodą droższą niż chociażby metoda RAPD, ale duża liczba generowanych markerów powoduje, że koszt jednostkowy przypadający na identyfikację pojedynczego markera jest porównywalny, a często nawet niższy. Analizy AFLP w dalszym ciągu nie straciły na popularności i stosowane są w wielu obszarach badań molekularnych (Meudt, Clarke 2007).

## 2.5. Markery SSR (ang. *Simple Sequence Repeats*)

Swoisty rodzaj markerów stanowią proste sekwencje powtarzalne, czyli tzw. mikrosatelity (SSR), składające się z wielokrotnie powtórzonych krótkich sekwencji nukleotydowych (Zietkiewicz i in. 1994). Mikrosatelity licznie występują w genomach roślin wyższych, gdzie są równomiernie rozmieszczone we wszystkich chromosomach, bądź znajdują się w pobliżu centromerów. Mikrosatelitarne sekwencje zlokalizowane są u roślin w obrębie genów oraz poza nimi. Sekwencje dwunukleotydowe występują najczęściej w intronach, zaś trójnukleotydowe przede wszystkim w egzonach. Markery SSR są kodominujące i często wykazują wysoki poziom polimorfizmu, co pozwala na identyfikację wielu alleli w poszczególnych loci (Powell i in. 1996; Szućko i in. 2012). Bardzo dobrze sprawdzają się w analizie dużych populacji, a opracowane założenia metodyczne dla określonych gatunków oraz dane z poszczególnych analiz są w dużym stopniu uniwersalne i mogą być wykorzystane przez innych badaczy. Technika SSR jest wykorzystywana m.in. w mapowaniu, selekcji pożądanych genotypów, analizie populacji naturalnych oraz w badaniach filogenetycznych i ewolucyjnych (Reddy i in. 2002).

Markery SSR są obecnie powszechnie używane do wysycania map genetycznych, już częściowo opracowanych przy pomocy innych typów markerów. Obecność niektórych markerów SSR obserwuje się u większej liczby gatunków. Konkretnym przykładem takich sekwencji jest motyw (CT)<sub>10</sub> (GAA)<sub>5</sub> (AAT)<sub>6</sub>, który wykorzystano do określenia różnorodności genetycznej, w badaniach taksonomicznych, analizie pochodzenia, a także do identyfikacji genotypowej pszenicy, ryżu, soi oraz winorośli (Morgante i in. 2002; Szućko i in. 2012).

System markerów SSR posiada również pewne ograniczenia, takie jak wysokie koszty analizy wynikające m.in. z wieloetapowego przygotowania specyficznych starterów oraz brak możliwości odróżnienia alleli o tej samej liczbie par zasad, ale różniących się sekwencją, czyli tzw. homoplazji (Sztuba-Solińska 2005). Markery mikrosatelitarne w większości wykazują także dużą specyfikę gatunkową, co wymusza prowadzenie odrębnych analiz dla każdego gatunku. Pomimo wysokich kosztów analizy oraz trudności w dobraniu odpowiednich starterów, markery mikrosatelitarne stały się cennym narzędziem w analizach molekularnych (Masojć 2005; Szućko i in. 2012).

## 2.6. Markery DART (ang. *Diversity Arrays Technology*)

W ostatnich dziesięcioleciach opracowano wiele systemów markerowych, które mogą generować jednocześnie od kilku (RAPD, ISSR) do wielu tysięcy markerów (SNP) (Bernardo 2008; Semagn i in. 2010). Tak duży wybór powoduje, iż naukowcy, oprócz zapewnienia realizacji postawionych celów badawczych, coraz bardziej zwracają uwagę na wydajność danej metody, czas realizacji całej analizy oraz aspekt ekonomiczny. Dlatego też wybierają do realizacji swoich badań takie systemy markerowe, które umożliwiają wydajną identyfikację dużej liczby markerów molekularnych w jak najkrótszym czasie i jak najniższym kosztem. Do takich systemów zaliczyć można m.in. metodę *Diversity Arrays Technology* (DART) (Jaccoud i in. 2001).

Technika DART zapewnia szybkie i niezależne od sekwencji DNA średniej gęstości skanowanie genomu roślin każdego gatunku (Wenzl i in. 2006; Kilian i in. 2012). Oparta na mikromacierzach DNA technika pozwala na analizę nawet kilku tysięcy loci rozmieszczonych w całym genomie bez uprzedniej znajomości ich sekwencji (Kilian i in. 2003; Wenzl i in. 2006). Do głównych atutów tej metody zaliczyć należy identyfikację w krótkim czasie bardzo dużej liczby markerów przy relatywnie niskim koszcie przeliczonym na wykrycie pojedynczego markera. Dodatkowo, technika DART nie jest zależna od wielkości genomu lub poziomu ploidalności badanych organizmów (Kilian i in. 2012). Warta podkreślenia jest również wysoka powtarzalność (99,8%) oraz wiarygodność markerów DART (Seroczynska, Kilian 2010). Dzięki tym właściwościom znalazły one zastosowanie w analizie genomu ponad 80 różnych organizmów ([www.diversityarrays.com](http://www.diversityarrays.com)). Technika DART używana jest głównie do mapowania genomu i sekwencjonowania<sup>7</sup>, identyfikacji QTL-i, selekcji MAS, w analizach zróżnicowania genetycznego, badaniach tożsamości odmianowej oraz taksonomii (Kilian i in. 2012).

---

<sup>7</sup> **Sekwencjonowanie** – techniki służące do odczytu sekwencji nukleotydowej, czyli kolejności par zasad w DNA.

Istnieje wiele przykładów zastosowania technologii DArT i nie sposób wymienić w tym zestawieniu wszystkich dokonań. Jednakże za najważniejsze uznać należy konstrukcje wielu silnie zagęszczonych map genetycznych, które bardzo często łączone są z innymi typami markerów. Pierwszą mapę genetyczną przy pomocy markerów DArT opracowano dla jęczmienia w 2004 roku (Wenzl i in. 2004). Obejmowała ona niemal czterysta loci, a już dwa lata później została uzupełniona o ponad dwa tysiące markerów DArT (Wenzl i in. 2006). Z hodowlanego punktu widzenia niezwykle istotna była identyfikacja genów odpowiedzialnych za ważne cechy użytkowe roślin, czego przykładem może być identyfikacja QTL-i odpowiedzialnych za odporność na fuzariozę kłosa u jęczmienia, wysokość roślin i długość koleoptylu u pszenicy (White i in. 2008). Markery DArT mogą być także wykorzystane w selekcji genomowej opracowanej przez Meuwissen i in. (2001), czyli w selekcji na podstawie markerów SNP (ang. *single-nucleotide polymorphism*), które pokrywają cały genom, a więc przedstawiają prawie całą zmienność genetyczną badanych organizmów (Strabel 2010; Seroczynska, Kilian 2010).

Metoda DArT jest z pewnością niezwykle funkcjonalna, wysoce informatywna oraz wiarygodna. Pewnym minusem jest fakt, iż została ona opatentowana oraz ma w dużym stopniu charakter komercyjny. Nie dyskwalifikuje to technologii DArT, ale niewątpliwie stanowi spore utrudnienie w jej wykorzystaniu w wieloetapowych programach hodowlanych. Kolejnym utrudnieniem w aplikacji tej metody jest konieczność tworzenia bibliotek genomowych dla gatunków, u których po raz pierwszy identyfikuje się markery DArT. Z drugiej strony stworzenie dobrych bibliotek genomowych usprawnia kolejne analizy i czyni z technologii DArT bardzo dobre narzędzie w różnorodnych badaniach molekularnych (Seroczynska, Kilian 2010).

## **2.7. Markery SNP (ang. *Single Nucleotide Polymorphism*)**

Metoda SNP jest jednym z najnowszych i zarazem najnowocześniejszych systemów markerowych, w którym analizowany jest polimorfizm pojedynczych nukleotydów (Brookes 1999). W rzeczywistości markery SNP to utrwalone mutacje punktowe w DNA. Spośród wszystkich systemów markerowych to właśnie metoda SNP charakteryzuje się obecnie najwyższym poziomem polimorfizmu analizowanej sekwencji. Istota analizy SNP polega na sekwencjonowaniu powielonego uprzednio konkretnego fragmentu genomu. Następnie w celu identyfikacji SNP porównuje się sekwencję nukleotydową z sekwencjonowanych fragmentów różnych organizmów.

Zastosowanie SNP jest bardzo szerokie i może zastępować bądź uzupełniać inne systemy markerowe. Jednakże aktualnie analizy SNP są niezwykle kosztowne i wymagają specjalistycznego sprzętu laboratoryjnego oraz zaawansowanych narzędzi bioinformatycznych, dlatego najczęściej stosowane są do analizy i detekcji poszczególnych genów odpowiedzialnych za ważne cechy użytkowe, konstrukcji bardzo dokładnych map genetycznych poprzez sekwencjonowanie nawet całych genomów. Niewątpliwą zaletą systemu SNP jest tworzenie ogólnodostępnych baz danych z opisanymi zidentyfikowanymi sekwencjami dla wielu gatunków, co niezwykle usprawnia współczesne badania molekularne (Brookes 1999; Strabel 2010; Jannink i in. 2010).

Identyfikacja SNP prowadzona jest obecnie w wielu laboratoriach na całym świecie. Jednymi z zastosowań tej metody u organizmów roślinnych były badania ekspresji genów u roślin poliploidalnych (Mochida i in. 2004) czy np. identyfikacja mutacji punktowych w obrębie genu odporności na rdzę liściową pszenicy (Tyrka i in. 2004). Przykładów jest wiele, ale szczególnie interesująca wydaje się pewna modyfikacja opisywanej metody badawczej, oparta o mikromacierze SNP, co jest powszechnie wykorzystywane do poszukiwania polimorfizmów genów warunkujących ważne cechy użytkowe roślin (*Genome Wide Association Study* – GWAS). Dzięki tym odkryciom naukowcy dysponują narzędziem do całościowej analizy genomu, umożliwiającym jednoczesne ustalenie różnic w tysiącach miejsc SNP. Aktualnie dostępne są mikromacierze obejmujące setki tysięcy SNP, np. 50 tys. – kukurydza, 9 tys. – jabłoni (Świtoński, Malepszy 2012).

System oparty o SNP, pomimo wysokich kosztów analiz i wysokich wymagań sprzętowych, daje szansę na zintegrowanie wspólnych działań wszystkich badaczy analizujących genomy organizmów żywych, na szybką wymianę informacji oraz pełny automatyzm prowadzonych analiz. Sekwencjonowanie umożliwia poznanie niemal pełnego zróżnicowania genetycznego organizmów, dzięki czemu staje się narzędziem niezwykle użytecznym w doskonaleniu i hodowli nowych odmian.

Połączone z niebywałym postępem technologicznym opracowanie coraz to nowszych systemów opartych na markerach molekularnych zapewnia skrócenie czasu analiz, zwiększenie wydajności, czułości, powtarzalności oraz uniwersalności stosowanych systemów. Z kolei różnorodność poszczególnych systemów markerowych, ich rozmaite atuty oraz ograniczenia powodują, iż część z nich jest bardziej użyteczna na początkowych, a inne na kolejnych etapach hodowli. Reasumując, dzięki wielu cennym odkryciom z dziedziny biologii molekularnej naukowcy dysponują obecnie nie tylko atrakcyjnymi perspektywami uzyskiwania postępu biologicznego, ale również nowymi możliwościami w zakresie hodowli roślin uprawnych.

### 3. Markery molekularne w hodowli wierzby

Rośliny wierzby (*Salix* spp.) są aktualnie często uprawiane na gruntach rolnych, co wiąże się przede wszystkim z ich wysoką produktywnością, zdolnością do regeneracji po ścięciu oraz możliwością różnorodnego wykorzystania ich biomasy (Kuzovkina, Quigley 2005; Sulima i in. 2006a; Sulima i in. 2006b; Carvalho i in. 2006; Smart, Cameron 2008; Förster i in. 2010; Stolarski i in. 2011). Najważniejszymi kierunkami uprawy wierzby jest produkcja biomasy na cele energetyczne oraz farmaceutyczne. W dalszej kolejności mogą one być stosowane w plecionkarstwie, przemyśle papierniczym i chemicznym oraz w kształtowaniu i ochronie środowiska. Tak rozmaite możliwości wykorzystania wierzby sprawiają, że hodowcy opracowują poszczególne programy hodowlane, ściśle związane z konkretnym rodzajem przeznaczenia nowych odmian. Każdy rodzaj zastosowania biomasy wierzbowej związany jest więc z potrzebą doskonalenia innego zestawu cech. O ile odmiany przeznaczone na cele energetyczne powinny charakteryzować się przede wszystkim wysokim plonem biomasy oraz wysoką jej wartością energetyczną, o tyle w przypadku form stosowanych w farmaceutyce do produkcji aspiryny naturalnej najważniejsza jest zawartość glikozydów salicylowych w korze. Powyższe fakty, w połączeniu z wysoką zmiennością ważnych użytkowo cech, zarówno w obrębie poszczególnych gatunków wierzby, jak i między gatunkami, stwarzają atrakcyjne perspektywy w hodowli udoskonalonych odmian wierzby.

Hodowla nowych odmian wierzby w szerokim zakresie dotyczy jedynie tworzenia form z przeznaczeniem energetycznym bądź farmaceutycznym. Do celów energetycznych hodowane są przede wszystkim odmiany o wysokim potencjale produkcyjnym, odporne na podstawowe choroby i szkodniki, z wysoką tolerancją na zmieniające się warunki środowiskowe oraz charakteryzujące się odpowiednim składem elementarnym drewna, który ma wpływ na ich wartość energetyczną (Szcukowski, Budny 2003; Stolarski i in. 2008; Smart, Cameron 2008; Stolarski i in. 2011). Prowadzone liczne badania nad przydatnością różnych gatunków do celów energetycznych wykazały, iż najwyższą produktywnością biomasy charakteryzuje się wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.). W dalszej kolejności za energetyczne gatunki uznaje się *S. dasyclados*, *S. eriocephala*, *S. burjatica*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *S. schwerini* oraz niektóre mieszańce międzygatunkowe (Sulima i in. 2006a; Smart, Cameron 2008; Szcukowski, Budny 2003). Obserwowane wysokie zróżnicowanie w obrębie poszczególnych gatunków stwarza szansę na podniesienie produktywności poprzez hodowlę selekcyjną bądź rekombinacyjną.

Programy hodowlane oparte jedynie na obserwacjach cech morfologicznych są zazwyczaj długotrwałe i pracochłonne, a niejednokrotnie także obciążone wieloma ograniczeniami. Właściwym celem hodowli, także w przypadku wierz-

by, powinno być maksymalne wykorzystanie potencjału genetycznego roślin w możliwie jak najkrótszym czasie. Dlatego też w ostatnich latach markery molekularne stały się podstawowym i niezbędnym elementem w wielu cyklach hodowlanych. Zastosowanie markerów molekularnych pozwala na wprowadzenie bardziej obiektywnych kryteriów selekcji i doboru materiału rodzicielskiego, jak również pozwala w znaczący sposób skrócić czas niezbędny na wyhodowanie nowej odmiany.

Markery molekularne wspomagają hodowlę nowych odmian wierzby na wielu jej etapach. Ocena zróżnicowania genetycznego z wykorzystaniem markerów molekularnych jest istotnym elementem w początkowych etapach wszelkich programów hodowlanych – od właściwego doboru materiałów wyjściowych do hodowli aż po selekcję odpowiednich form rodzicielskich. Aravanopoulos i in. (1999) przeprowadzili ocenę zróżnicowania genetycznego 114 genotypów *S. eriocephala* oraz *S. exigua* pochodzących z naturalnych populacji za pomocą 12 izoenzymów. Wyniki obrazujące poziom zróżnicowania naturalnych populacji pozwoliły określić optymalną liczbę form zbieranych z pojedynczych populacji, które następnie miały stanowić materiał wyjściowy do dalszej hodowli. Z kolei Barker i in. (1999) oceniali przydatność metod RAPD i AFLP w charakterystyce zmienności genetycznej szybko rosnących form różnych gatunków *Salix* spp. W pracy tej stwierdzono użyteczność obu metod, lecz technikę AFLP oceniono jako bardziej efektywną. Badania Trybush i in. (2008) opierały się na analizie zróżnicowania genetycznego 154 form pochodzących z 50 różnych gatunków na bazie markerów AFLP. Autorzy wykazali przydatność markerów AFLP do oceny zróżnicowania genetycznego, wykrywania klonów, a nawet do badań taksonomicznych wierzby. Przyborowski i Sulima (2010) przeprowadzili analizę zróżnicowania genetycznego *S. viminalis* za pomocą markerów RAPD. Autorzy otrzymali 210 produktów, z czego aż 94% było polimorficznych. Wyniki zróżnicowania genetycznego oraz pomiarów biometrycznych umożliwiły wybór odpowiednich form rodzicielskich do krzyżowania. Z kolei Trybush i in. (2012) stwierdzili wysoki poziom zróżnicowania genetycznego *S. viminalis* u 84 form pochodzących ze stanowisk naturalnych, co potwierdza sens wyboru materiałów wyjściowych spośród genotypów należących do populacji naturalnych. Autorzy ci zastosowali w badaniach 38 starterów SSR generujących średnio po 7 alleli.

Systemy oparte na markerach molekularnych są przydatne także do identyfikacji tożsamości genotypowej poszczególnych form hodowlanych, co jest użyteczne niemal na wszystkich etapach hodowli, a także w późniejszej ochronie praw autorskich do poszczególnych odmian. W tym celu stosuje się najprostsze i najtańsze systemy markerowe typu RAPD, ISSR lub bardziej wiarygodne AFLP. Przydatność metody RAPD do oceny tożsamości genotypowej dla różnych gatunków wierzby była wielokrotnie potwierdzana, m.in. przez



Lin i in. (1994), Barker i in. (1999), Triest i in. (2000), Sulima i in. (2009), Sulima, Przyborowski (2010b), Aravanopoulos (2010), Przyborowski, Sulima (2010). Metoda RAPD została wykorzystana m.in. do odróżnienia form mieszańcowych *S. fragilis* × *S. alba* od czystych gatunkowo form *S. fragilis* oraz *S. alba* (Triest i in. 2000). Porównywane były także metody RAPD i ISSR (Sulima, Przyborowski 2010a), w których stwierdzono przydatność obu metod przy nieco wyższej informatywności markerów ISSR. W metodzie ISSR pojedyncze startery generowały średnio 7,73 produktów, a w RAPD – 5,82 produktu. Z kolei markery DArT okazały się użyteczne w badaniach taksonomicznych (Przyborowski i in. 2013a, Przyborowski i in. 2013b). Przyborowski i in. (2013b) na podstawie 1443 markerów DArT uzyskali wyniki, które umożliwiły prawidłową ocenę przynależności gatunkowej 76 form *Salix*.

Ocena tożsamości gatunkowej w przypadku wierzby od wieków sprawia wiele trudności botanikom, a związane jest głównie z wysokim zróżnicowaniem gatunkowym, niezwykłą zdolnością do wzajemnego krzyżowania się gatunków i tworzenia wielu rozmaitych mieszańców międzygatunkowych, jak też z wysoką zmiennością sezonową oraz środowiskową roślin wierzby. W związku z powyższym analiza przynależności gatunkowej wierzby na podstawie jedynie cech morfologicznych jest niejednokrotnie problematyczna, a nawet niemożliwa (Skvortsov 1999; Argus 2007; Chen i in. 2010). Dlatego też aktualnie coraz większą rolę w badaniach nad systematyką oraz identyfikacją gatunkową odgrywają techniki molekularne, które wspomagają dotychczasowe osiągnięcia taksonomiczne (Stuessy 2009; Hollingsworth i in. 2011).

Również markery AFLP są stosowane w identyfikacji genotypowej, co w przypadku wierzby zostało przedstawione m.in. w badaniach Beismann i in. (1997), Kopp i in. (2002), Trybush i in. (2008). W badaniach tożsamości genotypowej duże znaczenie ma identyfikacja markerów specyficznych genotypowo, czyli takich, które występują wyłącznie u jednego genotypu. Markery specyficzne genotypowo znacznie skracają, usprawniają i upraszczają proces identyfikacji form. W hodowli nowych odmian genotypowe markery specyficzne stanowią cenne narzędzie w szybkim potwierdzaniu tożsamości genotypowej różnych form z rodzaju *Salix* (Sulima i in. 2009; Sulima, Przyborowski 2010b).

W praktyce hodowlanej ważne miejsce zajmują także markery sprzężone z płcią, które umożliwiają szybkie rozpoznanie płci już na wstępnych etapach rozwoju roślin mieszańcowych bądź u materiałów wyjściowych. Alstrom-Rapaport i in. (1998) zidentyfikowali jeden marker RAPD specyficzny dla płci żeńskiej *S. viminalis*. W badaniach Gunter i in. (2003) wykryto kolejne dwa markery RAPD identyfikujące płęć *S. viminalis*, które zostały konwertowane do markerów SCAR i są użyteczne w wielu programach hodowlanych. Kolejne cztery markery sprzężone z płcią zaobserwowano w wyniku zastosowania metody AFLP (Semerikov i in. 2003).

Niezwykle cennym zastosowaniem markerów molekularnych z punktu widzenia usprawnienia programów hodowlanych jest tworzenie map genetycznych, a w dalszej konsekwencji identyfikacja genów bądź QTL-i odpowiedzialnych za ważne cechy decydujące o użyteczności wierzby do celów energetycznych. Pierwsze próby mapowania w rodzaju *Salix* miały miejsce jeszcze pod koniec ubiegłego wieku, a oparte były na izoenzymach, w których autorzy zidentyfikowali 11 loci izoenzymatycznych oraz 4 grupy sprzężeń u *S. viminalis* (Thorsen i in. 1997). Aravanopoulos, Zsuffa (1998) wykryli istotną korelację pomiędzy poziomem heterozygotyczności 11 loci izoenzymowych a produktywnością biomasy *S. eriocephala*, co uznane zostało za mocno kontrowersyjne odkrycie (Lin 2006). Bardziej informatywne markery AFLP i RFLP zastosowali Tsarouhas i in. (2002), konstruując mapę *S. viminalis* oraz mieszańca *S. viminalis* × *S. schwerinii*. Obie mapy pokrywały około 70–80% całego genomu ze średnią gęstością markerów 14 cM. Mapa *S. viminalis* o wielkości 1844 cM zawierała 146 markerów posegregowanych na 18 głównych grup sprzężeń, a w przypadku *S. viminalis* × *S. schwerinii* mapa o rozmiarze 2404 cM obejmowała 217 markerów ulokowanych w 26 grupach sprzężeń, a pomiędzy mapami zaobserwowano 8 homologicznych grup sprzężeń. W tych samych badaniach autorzy zidentyfikowali w sumie jedenaście QTL-i, w tym siedem dla wzrostu roślin, po jednym dla średnicy pędów, stosunku wysokości do średnicy, liczby wegetatywnych pąków podczas kwitnienia oraz liczby pędów na roślinie (Tsarouhas i in. 2002). Niemal w tym samym czasie Hanley i in. (2002) opracowali mapę *S. viminalis* opartą na markerach AFLP oraz SSR. W sumie zlokalizowano 291 markerów AFLP oraz 39 markerów mikrosatelitarnych rozmieszczonych średnio co 4,4 cM, a cała mapa miała wielkość 1256,5 cM. Rönnerberg-Wästljung i in. (2003) skonstruowali mapy genetyczne mieszańca tetraploidalnego *S. viminalis* × *S. dasyclados* odrębnie dla płci męskiej i żeńskiej. Mapa formy męskiej obejmowała 269 markery rozłożone w 37 głównych i 31 mniejszych grup sprzężeń obejmujących 1820 cM genomu. Z kolei mapa formy żeńskiej składała się z 248 markerów przypisanych do 35 głównych i 22 mniejszych grup sprzężeń obejmujących 1640 cM. Dwa lata później Rönnerberg-Wästljung i in. (2005) zidentyfikowali za pomocą metody AFLP QTL-e odpowiedzialne za wzrost roślin oraz tolerancję na suszę mieszańców *S. dasyclados* × *S. viminalis*. Także dla innych cech użytkowych *S. viminalis* zidentyfikowano QTL-e odpowiedzialne za np. odporność na jesienne przymrozki i cechy fenologiczne związane z jesienią (Tsarouhas i in. 2004), czy cechy związane ze wzrostem roślin (Weih i in. 2006). Nie bez znaczenia dla rozwoju badań genomicznych nad strukturą genomu *Salix* był znaczny postęp w zakresie sekwencjonowania genomu *Populus*. Pionierskie wyniki badań (Hanley i in. 2006), uzyskane w oparciu o homologię sekwencji niektórych fragmentów genomu *Salix* w stosunku do genomu *Populus*, stanowiły punkt wyjścia do

identyfikacji pierwszych markerów SNP. Markery te, obok markerów AFLP i SSR, posłużyły do konstrukcji mapy genetycznej wierzby o łącznej długości 1856,7 cM, przy średniej gęstości markerów wynoszącej 6,3 cM.

Istotny wkład w rozwój idei wykorzystania biomasy lignocelulozowej w produkcji bioetanolu, w tym biomasy wierzbowej, mają badania przeprowadzone przez Brereton i in. (2010), którzy stwierdzili istotną naturalną zmienność w zawartości glukozy w biomasie pędów wierzby. Stwierdzili oni ponadto, że cecha ta jest niezależna od cech kształtujących plon biomasy i zidentyfikowali w czterech różnych chromosomach cztery regiony QTL-i związanych z enzymatycznym szlakiem syntezy glukozy. Wyniki te wskazują na fakt genetycznej kontroli szlaków metabolicznych syntezy i akumulacji cukrów w biomasie, co stwarza realną możliwość hodowli odmian na cele produkcji biopaliw.

Bez względu na przeznaczenie wierzby na wieloobszarowych plantacjach zaczynają się pojawiać problemy ze zdrowotnością roślin. Jednym z głównych patogenów są grzyby z rodzaju *Melampsora*, wywołujące rdzę liści. Choroba ta zdaniem Parker i in. (1993) może zredukować plon biomasy wierzby nawet o 40%. Poszukuje się zatem naturalnych źródeł odporności na tego patogena (Jędryczka i in. 2008) oraz podejmuje się badania zmierzające do identyfikacji QTL-i związanych z podatnością i odpornością roślin *Salix* na rdzę (Samils i in. 2011). Badania Samils i in. (2011) zaowocowały identyfikacją trzynastu skupisk QTL-i związanych z odpornością na *Melampsora* sp., a dodatkowo stwierdzili oni, że główny region QTL kosegregował z genem homologicznym w stosunku do jednego ze znanych genów związanych z odpornością u *Populus*.

Obszerny opis wielu przykładów zastosowania markerów molekularnych w pełni ukazuje, jak ważną rolę spełniają systemy markerowe w hodowli wysoko produkcyjnych odmian wierzby. Systemy oparte na markerach molekularnych są stosowane na wielu etapach nowoczesnej hodowli, dzięki czemu programy hodowlane stają się bardziej efektywne, a poszczególne cykle hodowlane ulegają znacznemu skróceniu. Identyfikacja tak dużej liczby QTL-i umożliwia uwzględnienie w strategii obecnych i kolejnych programów hodowlanych wierzby energetycznej selekcji MAS. Z kolei zakres stosowania selekcji MAS skorelowany jest z postępem wiedzy o genomie danego gatunku. Tak więc, pomimo już wielu osiągnięć w tej dziedzinie, potrzebne są kolejne badania umożliwiające jak najlepsze poznanie genomu gatunków wierzby wykorzystywanych do celów energetycznych. Badania zmierzające do ustalenia, które fragmenty DNA sprzężone są z cechami wpływającymi bezpośrednio lub pośrednio na poprawę produktywności, wydają się być kluczowe z punktu widzenia hodowli nowych ulepszonych odmian wierzby. Oczekuje się, że właśnie tego typu badania, obok sekwencjonowania całego genomu, w najwyższym stopniu wpłyną na intensywny rozwój nowoczesnej hodowli wysoko produktywnych odmian wierzby stosowanych w bioenergetyce.

## Piśmiennictwo

- Alstrom-Rapaport C., Lascoux M., Wang Y., Roberts G., Tuskan G. 1998. *Identification of a RAPD marker linked to sex determination in the basket willow (Salix viminalis L.)*. J. Hered. 89 (1): 44–49.
- Aravanopoulos F. 2010. *Clonal Identification Based on Quantitative, Codominant, and Dominant Marker Data: A Comparative Analysis of Selected Willow (Salix L.) Clones*. Int. J. For. Res.
- Aravanopoulos F., Kim K., Zsuffa L. 1999. *Genetic diversity of superior Salix clones selected for intensive forestry plantations*. Biomass Bioenergy 16 (4): 249–255.
- Aravanopoulos F., Zsuffa L. 1998. *Heterozygosity and biomass production in Salix eriocephala*. Heredity 81 (4): 396–403.
- Argus G.W. 2007. *Salix (Salicaceae) distribution maps and a synopsis of their classification in North America, north of Mexico*. Harvard Pap. Bot. 12 (2): 335–368.
- Avise J.C. 1994. *Molecular markers: natural history and evolution*. Sunderland, MA: Sinauer.
- Barker J.H.A., Matthes M., Arnold G.M., Edwards K.J., Ahman I., Larsson S., Karp A. 1999. *Characterization of genetic diversity in potential biomass willows (Salix spp.) by RAPD and AFLP analyses*. Genome 42 (2): 173–183.
- Beismann H., Barker J., Karp A., Speck T. 1997. *AFLP analysis sheds light on distribution of two Salix species and their hybrid along a natural gradient*. Mol. Ecol. 6 (10): 989–993.
- Bernardo R. 2008. *Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years*. Crop Sci. 48 (5): 1649–1664.
- Bernardo R. 2013. *Genomewide markers as cofactors for precision mapping of quantitative trait loci*. Theor. Appl. Genet. 126(4): 1–11.
- Brereton N.J., Pitre F.E., Hanley S.J., Ray M.J., Karp A., Murphy R.J. 2010. *QTL mapping of enzymatic saccharification in short rotation coppice willow and its independence from biomass yield*. Bioenergy Res. 3 (3): 251–261.
- Breyne P., Boerjan W., Gerats T., Van Montagu M., Van Gysel A. 1997. *Applications of AFLP TM in plant breeding, molecular biology and genetics*. Belg. J. Bot. 129: 107–117.
- Brookes A.J. 1999. *The essence of SNPs*. Gene 234 (2): 177–186.
- Brown G.R., Bassoni D.L., Gill G.P., Fontana J.R., Wheeler N.C., Megraw R.A., Davis M.F., Sewell M.M., Tuskan G.A., Neale D.B. 2003. *Identification of quantitative trait loci influencing wood property traits in loblolly pine (Pinus taeda L.)*. III. QTL verification and candidate gene mapping. Genetics 164 (4): 1537–1546.
- Burczyk J. 1998. *Systemy kojarzenia drzew iglastych*. Wydaw. Uczelniane WSP, Bydgoszcz.
- Burr B., Evola S., Burr F., Beckmann J. 1983. *The application of restriction fragment length polymorphism to plant breeding*. In: *Genetic engineering principles and methods*. Setlow J. K., Hollaender A. (eds.). Plenum Publishing Corp., New York: 45–49.
- Carvalho A.M., Pardo de Santayana M., Morales R. 2006. *Traditional knowledge of basketry practices in a northeastern region of Portugal*. In: *Proceedings of the IVth International Congress of Ethnobotany (ICEB 2005)*. Yeditepe University, Turquia, 2006: 335–338.
- Cervera M.T., Storme V., Ivens B., Gusmao J., Liu B.H., Hostyn V., Van Slycken J., Van Montagu M., Boerjan W. 2001. *Dense genetic linkage maps of three Populus species (Populus deltoides, P. nigra and P. trichocarpa) based on AFLP and microsatellite markers*. Genetics 158 (2): 787–809.
- Cervera M., Storme V., Soto A., Ivens B., Van Montagu M., Rajora O., Boerjan W. 2005. *Intraspecific and interspecific genetic and phylogenetic relationships in the genus Populus based on AFLP markers*. Theor. Appl. Genet. 111 (7): 1440–1456.
- Chen J.H., Sun H., Wen J., Yang Y.P. 2010. *Molecular phylogeny of Salix L. (Salicaceae) inferred from three chloroplast datasets and its systematic implications*. Taxon 59 (1): 29–37.
- Collard B.C., Mackill D.J. 2008. *Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century*. Philos. Trans. R. Soc. Lond., B 363 (1491): 557–572.
- Danna K., Nathans D. 1971. *Specific cleavage of simian virus 40 DNA by restriction endonuclease of Hemophilus influenzae*. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 68 (12): 2913–2917.
- Despres L., Gielly L., Redoutet B., Taberlet P. 2003. *Using AFLP to resolve phylogenetic relationships in a morphologically diversified plant species complex when nuclear and chloroplast sequences fail to reveal variability*. Mol. Phylogenet. Evol. 27 (2): 185–196.

- Feng J., Liu Z., Cai X., Jan C.C. 2013. *Toward a molecular cytogenetic map for cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.) by landed BAC/BIBAC clones. G3: Genes | Genomes | Genetics* 3 (1): 31–40.
- Förster N., Ulrichs C., Zander M., Kätzel R. 2010. *Factors influencing the variability of antioxidative phenolic glycosides in *Salix* species. J. Agric. Food. Chem.* 58: 8205–8210.
- Fritsch P., Rieseberg L.H. 1996. *The use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) in conservation genetics. In: Molecular genetic approaches in conservation* Smith T.B. Wayne R.K. (eds.). Oxford University Press, Oxford: 54–73.
- González-Martínez S.C., Krutovsky K.V., Neale D.B. 2006. *Forest-tree population genomics and adaptive evolution. New Phytol.* 170 (2): 227–238.
- Gunter L., Roberts G., Lee K., Larimer F., Tuskan G. 2003. *The development of two flanking SCAR markers linked to a sex determination locus in *Salix viminalis* L. J. Hered.* 94 (2): 185–189.
- Gupta P., Kumar J., Mir R., Kumar A. 2010. *Marker-Assisted Selection as a Component of Conventional Plant Breeding. Plant Breeding Reviews:* 145–217.
- Haley S., Miklas P., Stavely J., Byrum J., Kelly J. 1993. *Identification of RAPD markers linked to a major rust resistance gene block in common bean. Theor. Appl. Genet.* 86 (4): 505–512.
- Hamrick J., Godt M., Brown A., Clegg M., Kahler A., Weir B. 1990. *Allozyme diversity in plant species. In: Plant Population Genetics, Breeding, and Genetic Resources.* Brown H.D., Clegg M.T., Kahler A.L., Weir B.S.(eds.). Sinauer Associates Inc., Sunderland: 43–63.
- Hanley S., Barker J., Van Ooijen J., Aldam C., Harris S., Åhman I., Larsson S., Karp A. 2002. *A genetic linkage map of willow (*Salix viminalis*) based on AFLP and microsatellite markers. Theor. Appl. Genet.* 105 (6–7): 1087–1096.
- Hanley S., Mallott M., Karp A. 2006. *Alignment of a *Salix* linkage map to the *Populus* genomic sequence reveals macrosynteny between willow and poplar genomes. Tree Genet. Genomes* 3 (1): 35–48.
- Heffner E.L., Sorrells M.E., Jannink J.L. 2009. *Genomic selection for crop improvement. Crop Sci.* 49 (1): 1–12.
- Hollingsworth P.M., Graham S.W., Little D.P. 2011. *Choosing and using a plant DNA barcode. PLoS One* 6 (5): e19254.
- Jaccoud D., Peng K., Feinstein D., Kilian A. 2001. *Diversity arrays: a solid state technology for sequence information independent genotyping. Nucleic Acids Res.* 29 (4): e25.
- Jain S.M., Brar D.S. 2010. *Molecular techniques in crop improvement. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.*
- Jannink J.L., Lorenz A.J., Iwata H. 2010. *Genomic selection in plant breeding: from theory to practice. Brief. Funct. Genomics.* 9 (2): 166–177.
- Jędrzycka M., Ciszewska-Marciniak J., Przyborowski J. 2008. *The search for genetic sources of willow resistance to rust (*Melampsora epitea*). Phytopathol. Pol.* 49: 5–19.
- Jones C., Edwards K., Castaglione S., Winfield M., Sala F., Van de Wiel C., Bredemeijer G., Vosman B., Matthes M., Daly A. 1997. *Reproducibility testing of RAPD., AFLP and SSR markers in plants by a network of European laboratories. Mol. Breed.* 3(5): 381–390.
- Joshi B.K., Panthee D.R., Louws F.J., Yencho G.C., Sosinski B., Arellano C. 2013. *RAPD Markers Linked to Late Blight Resistance in Tomato. Nepal J. Sci. Technol.* 14 (1): 1–14.
- Junghans D., Alfenas A., Brommonschenkel S., Oda S., Mello E., Grattapaglia D. 2003. *Resistance to rust (*Puccinia psidii* Winter) in *Eucalyptus*: mode of inheritance and mapping of a major gene with RAPD markers. Theor. Appl. Genet.* 108 (1): 175–180.
- Kilian A., Huttner E., Wenzl P., Jaccoud D., Carling J., Caig V., Evers M., Heller-Uszynska K., Cayla C., Patarapuwadol S. 2003. *The fast and the cheap: SNP and DArT-based whole genome profiling for crop improvement. In: The Wake of the Double Helix: From the Green Revolution to the Gene Revolution:* 443–461.
- Kilian A., Wenzl P., Huttner E., Carling J., Xia L., Blois H., Caig V., Heller-Uszynska K., Jaccoud D., Hopper C., Aschenbrenner-Kilian M., Evers M., Peng K., Cayla C., Hok P., Uszynski G. 2012. *Diversity Arrays Technology: A Generic Genome Profiling Technology on Open Platforms. In: Data Production and Analysis in Population Genomics.* Pompanon F., Bonin A. (eds.) vol. 888. Methods Mol. Biol. Humana Press: 67–89.
- Kopp R., Smart L., Maynard C., Tuskan G., Abrahamson L. 2002. *Predicting within-family variability in juvenile height growth of *Salix* based upon similarity among parental AFLP fingerprints. Theor. Appl. Genet.* 105 (1): 106–112.

- Kuzovkina Y.A., Quigley M.F. 2005. *Willows beyond wetlands: Uses of Salix L. species for environmental projects*. Water Air Soil Pollut. 162 (1): 183–204.
- Lande R., Thompson R. 1990. *Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits*. Genetics 124 (3): 743–756.
- Lin D., Hubbes M., Zsuffa L. 1994. *Differentiation of poplar and willow clones using RAPD fingerprints*. Tree Physiol. 14 (10): 1097–1105.
- Lin J. 2006. *Molecular analysis and assessment of the genetic diversity of native and naturalized shrub willows*. ProQuest.
- Markert C.L., Miller F. 1959. *Multiple forms of enzymes: tissue-, ontogenetic-, and species specific patterns*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 45 (5): 753.
- Masojć P. 2005. *Ustalanie tożsamości genetycznej*. W: *Biotechnologia roślin*. Malepszy S. (red.), PWN, Warszawa: 485–519.
- Mejnartowicz L. 1983. *Changes in genetic structure of Scots pine (Pinus silvestris L.) population affected by industrial emission of fluoride and sulphur dioxide*. Genet. Pol. 24 (1): 41–50.
- Meudt H.M., Clarke A.C. 2007. *Almost forgotten or latest practice? AFLP applications, analyses and advances*. Trends Plant Sci. 12 (3): 106–117.
- Meuwissen T., Hayes B., Goddard M. 2001. *Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps*. Genetics 157 (4): 1819–1829.
- Mochida K., Yamazaki Y., Ogihara Y. 2004. *Discrimination of homoeologous gene expression in hexaploid wheat by SNP analysis of contigs grouped from a large number of expressed sequence tags*. Mol. Genet. Genomics. 270 (5): 371–377.
- Morgante M., Hanafey M., Powell W. 2002. *Microsatellites are preferentially associated with non-repetitive DNA in plant genomes*. Nat. Genet. 30 (2): 194–200.
- Mueller U.G., Wolfenbarger L.L. 1999. *AFLP genotyping and fingerprinting*. Trends Ecol. Evol. 14 (10): 389–394.
- Mullis K., Faloona F., Scharf S., Saiki R., Horn G., Erlich H. 1992. *Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction*. Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol. 51: 263–273.
- Mullis K.B., Faloona F.A. 1987. *Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction*. Methods Enzymol. 155: 335.
- Panigrahi J., Kole P., Kole C. 2011. *RFLP mapping of loci controlling self-incompatibility in Brassica campestris and their comparative mapping with B. napus and B. oleracea*. Biol. Plant. 55 (1): 54–60.
- Paolucci I., Gaudet M., Jorge V., Beritognolo I., Terzoli S., Kuzminsky E., Muleo R., Mugnozsa G.S., Sabatti M. 2010. *Genetic linkage maps of Populus alba L. and comparative mapping analysis of sex determination across Populus species*. Tree Genet. Genomes 6 (6): 863–875.
- Parker S., Royle D., Hunter T. 1993. *Impact of Melampsora rust on yield of biomass willows*. 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada.
- Penner G., Bush A., Wise R., Kim W., Domier L., Kasha K., Laroche A., Scoles G., Molnar S., Fedak G. 1993. *Reproducibility of random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis among laboratories*. Genome Res. 2 (4): 341–345.
- Pinto L., Garcia A., Pastina M., Teixeira L., Bressiani J., Ulian E., Bidoia M., Souza A. 2010. *Analysis of genomic and functional RFLP derived markers associated with sucrose content, fiber and yield QTLs in a sugarcane (Saccharum spp.) commercial cross*. Euphytica 172 (3): 313–327.
- Powell W., Machray G.C., Provan J. 1996. *Polymorphism revealed by simple sequence repeats*. Trends Plant Sci. 1 (7): 215–222.
- Przyborowski J.A., Sulima P., Załuski D., Kuszewska A., Kilian A. 2013a. *Phylogenetic relationships between four Salix L. species based on DArT markers*. Paper presented at the Plant Genetics and Breeding Technologies, 18–20.02.2013, Wiedeń. Austria.
- Przyborowski J.A., Sulima P., Kuszewska A., Załuski D., Kilian A. 2013b. *Markery DArT w ocenie tożsamości gatunkowej Salix L.* Paper presented at the Biologia i ekologia roślin drzewiastych., 21–23.10.2013, Kórnik-Poznań. Polska.
- Przyborowski J.A., Sulima P. 2010. *The analysis of genetic diversity of Salix viminalis genotypes as a potential source of biomass by RAPD markers*. Ind. Crop Prod. 31: 395–400.
- Rafalski J., Tingey S.V. 1993. *Genetic diagnostics in plant breeding: RAPDs, microsatellites and machines*. Trends Genet. 9 (8): 275–280.

- Ragot M., Hoisington D. 1993. *Molecular markers for plant breeding: comparisons of RFLP and RAPD genotyping costs*. Theor. Appl. Genet. 86 (8): 975–984.
- Reddy M.P., Sarla N., Siddiq E.A. 2002. *Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding*. Euphytica 128(1): 9–17.
- Robert O., Abelard C., Dedryver F. 1999. *Identification of molecular markers for the detection of the yellow rust resistance gene Yr17 in wheat*. Mol. Breed. 5 (2): 167–175.
- Roberts R.J. 2005. *How restriction enzymes became the workhorses of molecular biology*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 102 (17): 5905–5908.
- Roberts R.J., Murray K. 1976. *Restriction endonuclease*. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 4 (2): 123–164.
- Ronnberg-Wästljung A., Glynn C., Weih M. 2005. *QTL analyses of drought tolerance and growth for a Salix dasyclados × Salix viminalis hybrid in contrasting water regimes*. Theor. Appl. Genet. 110 (3): 537–549.
- Rönnberg-Wästljung A., Tsarouhas V., Semirikov V., Lagercrantz U. 2003. *A genetic linkage map of a tetraploid Salix viminalis × S. dasyclados hybrid based on AFLP markers*. Forest Genet. 10 (3): 185–194.
- Sabor J. 2006. *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych: opracowanie zbiorowe*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.
- Samils B., Ronnberg-Wästljung A.C., Stenlid J. 2011. *QTL mapping of resistance to leaf rust in Salix*. Tree Genet. Genomes 7 (6): 1219–1235.
- Sanz M., Loarce Y., Fominaya A., Vossen J., Ferrer E. 2013. *Identification of RFLP and NBS/PK profiling markers for disease resistance loci in genetic maps of oats*. Theor. Appl. Genet. 126 (1): 203–218.
- Schlotterer C. 2004. *The evolution of molecular markers—just a matter of fashion?* Nat. Rev. Genet. 5 (1): 63–69.
- Schulman A.H. 2007. *Molecular markers to assess genetic diversity*. Euphytica 158 (3): 313–321.
- Semagn K., Björnstad Å., Ndjiondjop M. 2010. *An overview of molecular marker methods for plants*. Afr. J. Biotechnol. 5: 2540–2568.
- Semerikov V., Lagercrantz U., Tsarouhas V., Rönnberg-Wästljung A., Alström-Rapaport C., Lascoux M. 2003. *Genetic mapping of sex-linked markers in Salix viminalis L.* Heredity 91 (3): 293–299.
- Seroczynska A., Kilian A. 2010. *Technologia DaRT – nowe narzędzie do analizy zmienności genetycznej*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 555: 373–388.
- Sivolap Y.M. 2013. *Molecular markers and plant breeding*. Cytol. Genet. 47 (3): 188–195.
- Skvortsov A.K. 1999. *Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision*. University of Joensuu., Joensuu., Finland.
- Smart L.B., Cameron K.D. 2008. *Genetic improvement of willow (Salix spp.) as a dedicated bioenergy crop*. In: *Genetic improvement of bioenergy crops*: 377–396.
- Smith H.O., Welcox K. 1970. *A Restriction enzyme from Hemophilus influenzae: I. Purification and general properties*. J. Mol. Biol. 51 (2): 379–391.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2008. *Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles*. Biomass Bioenergy 32 (12): 1227–1234.
- Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Wróblewska H., Krzyżaniak M. 2011. *Short rotation willow coppice biomass as an industrial and energy feedstock*. Ind. Crops Prod. 33 (1): 217–223.
- Strabel T. 2010. *Selekcja genomowa – nowe narzędzie w doskonaleniu zwierząt*. Post. Nauk Rol. 2: 133–149.
- Stuessy T.F. 2009. *Plant taxonomy: the systematic evaluation of comparative data*. Columbia University Press.
- Sulima P., Przyborowski A. 2010a. *Porównanie przydatności markerów RAPD oraz ISSR w analizie zróżnicowania genetycznego Salix purpurea*. Paper presented at the III Polski Kongres Genetyki, 12–15.09.2010, Lublin.
- Sulima P., Przyborowski A., Stolarski M. 2006a. *Ocena przydatności wybranych gatunków wierzby do celów energetycznych*. Fragm. Agron. 3 (91): 290–299.
- Sulima P., Przyborowski J.A. 2010b. *Markery RAPD w identyfikacji genotypów Salix purpurea L.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 555: 419–425.
- Sulima P., Przyborowski J.A., Wiwart M. 2006b. *Willow bark – herbal raw material harvested from plants cultivated on arable lands*. Herba Pol. 52 (4): 18–25.

- Sulima P., Przyborowski J.A., Załuski D. 2009. *RAPD markers reveal genetic diversity in Salix purpurea L.* Crop Sci. 49: 857–863.
- Szczukowski S., Budny J. 2003. *Wierzba krzewiasta – roślina energetyczna.* Wydawnictwo UWM, Olsztyn.
- Sztuba-Solińska J. 2005. *Systemy markerów molekularnych i ich zastosowanie w hodowli roślin.* Kosmos 54: 227–239.
- Szućko I., Achrem M., Kalinka A. 2012. *Charakterystyka i zastosowanie SSR oraz ISSR w badaniach genomów roślinnych.* Kosmos 61 (4): 597–602.
- Szyp-Borowska I. 2005. *Mapowanie loci cech ilościowych jako nowe narzędzie w hodowli selekcyjnej drzew leśnych.* Leś. Pr. Bad. (1): 99–107.
- Świtowski M., Malepszy S. 2012. *Postęp biologiczny w rolnictwie w erze genomiki i modyfikacji genetycznych.* Nauka 1: 25–35.
- Tanksley S., Young N., Paterson A., Bonierbale M. 1989. *RFLP mapping in plant breeding: new tools for an old science.* Nat. Biotechnol. 7(3): 257–264.
- Tanksley S.D. 1983. *Isozymes in plant genetics and breeding.* Elsevier, Amsterdam.
- Thorsen J., Jorde P., Aravanopoulos F., Gullberg U., Zsuffa L. 1997. *Inheritance and linkage of isozyme loci in the basket willow (Salix viminalis L.).* J. Hered. 88 (2): 144–150.
- Triest L., De Greef B., De Bondt R., Van Slycken J. 2000. *RAPD of controlled crosses and clones from the field suggests that hybrids are rare in the Salix alba – Salix fragilis complex.* Heredity 84 (5): 555–563.
- Trybush S., Jahodová Š., Macalpine W., Karp A. 2008. *A genetic study of a Salix germplasm resource reveals new insights into relationships among subgenera, sections and species.* Bioenergy Res. 1 (1): 67–79.
- Trybush S.O., Jahodová Š., Čížková L., Karp A., Hanley S.J. 2012. *High Levels of Genetic Diversity in Salix viminalis of the Czech Republic as Revealed by Microsatellite Markers.* Bioenergy Res.: 1–9.
- Tsarouhas V., Gullberg U., Lagercrantz U. 2002. *An AFLP and RFLP linkage map and quantitative trait locus (QTL) analysis of growth traits in Salix.* Theor. Appl. Genet. 105 (2–3): 277–288.
- Tsarouhas V., Gullberg U., Lagercrantz U. 2004. *Mapping of quantitative trait loci (QTLs) affecting autumn freezing resistance and phenology in Salix.* Theor. Appl. Genet. 108 (7): 1335–1342.
- Tyrka M., Błaszczuk L., Chelkowski J., Lind V., Kramer I., Weilepp M., Wiśniewska H., Ordon F. 2004. *Development of the single nucleotide polymorphism marker of the wheat Lr1 leaf rust resistance gene.* Cell Mol. Biol. Lett. 9: 879–889.
- Villar M., Lefevre F., Bradshaw H., du Cros E.T. 1996. *Molecular genetics of rust resistance in poplars (Melampsora larici-populina Kleb/Populus sp.) by bulked segregant analysis in a 2x2 factorial mating design.* Genetics 143 (1): 531–536.
- Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Lee T., Hornes M., Friters A., Pot J., Paleman J., Kuiper M. 1995. *AFLP: a new technique for DNA fingerprinting.* Nucleic Acids Res. 23 (21): 4407–4414.
- Weeden N.F. 1989. *Applications of isozymes in plant breeding.* Plant Breed. Rev. 6: 11–54.
- Weih M., Rönnberg-Wästljung A.C., Glynn C. 2006. *Genetic basis of phenotypic correlations among growth traits in hybrid willow (Salix dasyclados x S. viminalis) grown under two water regimes.* New Phytol. 170 (3): 467–477.
- Welsh J., McClelland M. 1990. *Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers.* Nucleic Acids Res. 18 (24): 7213–7218.
- Wenzl P., Carling J., Kudrna D., Jaccoud D., Huttner E., Kleinhofs A., Kilian A. 2004. *Diversity arrays technology (DArT) for whole-genome profiling of barley.* Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 101 (26): 9915–9920.
- Wenzl P., Li H., Carling J., Zhou M., Raman H., Paul E., Hearnden P., Maier C., Xia L., Caig V. 2006. *A high-density consensus map of barley linking DArT markers to SSR, RFLP and STS loci and agricultural traits.* BMC Genomics 7 (1): 206.
- White J., Law J., MacKay I., Chalmers K.J., Smith J., Kilian A., Powell W. 2008. *The genetic diversity of UK, US and Australian cultivars of Triticum aestivum measured by DArT markers and considered by genome.* Theor. Appl. Genet. 116 (3): 439–453.



- 
- Williams J.G., Kubelik A.R., Livak K.J., Rafalski J.A., Tingey S.V. 1990. *DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers*. Nucleic Acids Res. 18 (22): 6531–6535.
- Williamson V., Ho J.Y., Wu F., Miller N., Kaloshian I. 1994. *A PCR-based marker tightly linked to the nematode resistance gene, Mi, in tomato*. Theor. Appl. Genet. 87 (7): 757–763.
- Zhang D., Zhang Z., Yang K., Li B. 2004. *Genetic mapping in (Populus tomentosa × Populus bolleana) and P. tomentosa Carr. using AFLP markers*. Theor. Appl. Genet. 108 (4): 657–662.
- Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. 1994. *Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR) – anchored polymerase chain reaction amplification*. Genomics 20: 176–183.



## ROZDZIAŁ 2

### **Dendromasa pozyskana z gruntów rolniczych jako surowiec energetyczny i przemysłowy**

### **Lignocellulosic biomass derived from agricultural land as energy and industrial feedstock**

**Mariusz J. Stolarski, Michał Krzyżaniak, Stefan Szczukowski,  
Józef Tworkowski**

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: wierzba, topola, robinia akacjowa, produktywność, skład chemiczny.

Key words: willow, poplar, black locust, productivity, chemical composition.

#### Streszczenie

Podstawą prezentowanych badań było dwuczynnikowe ścisłe doświadczenie założone w Stacji Dydaktyczno-Badawczej w Łężanach należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Pierwszym czynnikiem doświadczenia były trzy gatunki roślin: wierzba, topola i robinia akacja. Czynnikiem drugim był sposób wzbogacenia gleby, określony mianem „nawożenie”: lignina, nawożenie mineralne, szczepionka mikoryzowa i ich kombinacje oraz obiekt kontrolny bez żadnego wzbogacania gleby. Celem badań było określenie plonowania, przeżywalności oraz cech morfologicznych roślin wierzby, topoli oraz robinii akacji pozyskanej w dwuletniej rotacji zbioru, a ponadto ocena termofizyczna i chemiczna jakości dendromasy.

Wykazano istotne zróżnicowanie w zakresie plonowania badanych gatunków roślin. W dwuletniej rotacji zbioru topola i wierzba plonowały zdecydowanie wyżej niż robinia akacja, pomimo że rośliny uprawiano na mało zasobnej glebie. Zastosowane sposoby wzbogacania gleby istotnie zwiększały wysokość plonowania gatunków. Biomasa robinii charakteryzowała się najniższą wilgotnością oraz najwyższą wartością opałową i zawartością popiołu, natomiast topoli – najwyższą

#### Summary

The basis of the research was strict, two-factor experiment established in Didactic and Research Station in Łężany, belonged to the University of Warmia and Mazury in Olsztyn. The first experimental factor were three plant species: willow, poplar and black locust. The second factor was soil enrichment, further named as „fertilization”: lignin, mineral fertilization, mycorrhiza inoculation, their combinations and a control with no soil improvers. The aim of the study was to determine the yield, survival rate and morphological features of willow, poplar and black locust harvested in the two-year rotation. Moreover, the study took into account evaluation of thermo-physical and chemical quality of wood biomass.

Results shown significant differences in the yield of tested plant species. Poplar and willow harvest in two-year rotation yielded far higher than black locust despite the fact that all crops were grown on poor soil. The methods of soil enrichment significantly increased the yield of studied species. Biomass of robinia had the lowest humidity, and the highest lower heating value and ash content. In contrast, poplar had the highest content of carbon, hydrogen and the highest higher heating value, however, due

zawartością węgla i wodoru i najwyższym ciepłem spalania, jednakże ze względu na najwyższą wilgotność posiadała najniższą wartość opałową. Najwyższą zawartością celulozy oraz holocelulozy charakteryzowała się biomasa wierzby. Uzyskane wyniki należy zweryfikować w kolejnych cyklach zbioru. Jest to bardzo istotne, ponieważ w dalszej kolejności będzie to bezpośrednio wpływać na efektywność energetyczno-ekonomiczną oraz środowiskową produkcji i wykorzystania w energetyce czy przemyśle dendromasy.

to the highest moisture content, had the lowest lower heating value. The highest content of cellulose and holocellulose was found in willow biomass. The results should be verified in subsequent harvest cycles. This is very crucial due to fact that these features will further affect energy and economic efficiency, as well as environmental impact of biomass produced and use in the energy sector or in wood industry.

## 1. Wstęp

Biomasa to bardzo ważny surowiec energetyczny i przemysłowy. Wśród źródeł energii odnawialnej ma ona największy udział zarówno na świecie, w Unii Europejskiej oraz w Polsce: odpowiednio 62,5%, 46,0% i 86,1% (Eurostat 2011; GUS 2011; Renewables 2011). Dendromasę pozyskuje się obecnie głównie z lasów, przemysłu drzewnego oraz pielęgnacji zieleni miejskiej, natomiast w przyszłości jednym ze znaczących źródeł podaży dendromasy będą celowe polowe uprawy roślin wieloletnich, prowadzone w krótkich rotacjach zbioru (*Short Rotation Woody Crops – SRWC*). W cieplejszych strefach klimatycznych wśród nich wymienia się gatunki z rodzaju eukaliptus (*Eucalyptus* L'Hér.) (Sims i in. 1999; Binkley i in. 2003) oraz paulownia (*Paulownia*) (Roca Fernandez-Vizarra i Segovia Irujo 2011). Robinia akacja (*Robinia pseudo-acacia*) również preferuje cieplejsze strefy klimatyczne, chociaż jest uprawiana w strefach umiarkowanych (Redei i in. 2008, 2010; Zajączkowski i in. 2001). Gatunki z rodzaju *Salix* i *Populus* mają szeroki zasięg występowania (Volk in. 2006; Wilkinson i in. 2007; Stolarski i in. 2008, Fortier i in. 2010; Guo i Zhang 2010; Pearson i in. 2010; Johansson i Karačić 2011; Bergante i Facciotto 2011; Przyborowski i in. 2012).

Zapotrzebowanie na dendromasę nieleśną w przyszłości będzie w Europie istotnie wzrastać. W Polsce wynika to chociażby z krajowego Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku z późniejszymi zmianami (Rozporządzenie Ministra Gospodarki. 2008, 2010, 2012). W dokumencie tym zakłada się wzrost udziału energii odnawialnej oraz istotny wzrost wykorzystania biomasy nieleśnej do jej produkcji. Można powiedzieć, że decyzja o coraz większym wykorzystywaniu biomasy nieleśnej na cele energetyczne, a tym samym ograniczeniu spalania biomasy leśnej w cytowanym rozporządzeniu jest zasadna i celowa ze względu na inną funkcję lasów oraz pozyskiwanego z nich surowca drzewnego.

Należy tu dodać, że obecnie dendromasa jako surowiec energetyczny może być wykorzystywana w bardzo wielu różnorodnych technologiach. Procesy jej przemiany w energię zależą głównie od rodzaju i źródła jej pochodzenia. Z dendromasy można uzyskać biopaliwa stałe, płynne oraz gazowe, te zaś mogą dostarczać energię w postaci ciepła dla obiektów mieszkalnych i przemysłowych, energię elektryczną oraz paliwa transportowe (Gross i in. 2003; Keoleian, Volk 2005; Guidi i in., 2009; Somerville 2010; Hanoka i in. 2010).

Racjonalne wykorzystanie naturalnych surowców ma również istotne znaczenie w ochronie środowiska. Potrzeba czystego i przyjaznego dla środowiska paliwa prowadzi do poszukiwania nowych źródeł energii, opracowywania nowych technologii produkcji biopaliw, które zastąpią paliwa konwencjonalne. Drewno jako materiał lignocelulozowy jest jednym z najważniejszych surowców do produkcji biopaliw drugiej generacji. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (*International Energy Agency* – IEA) prognozuje, że w 2050 roku biopaliwa mogą stanowić aż 27% wszystkich paliw transportowych, co równocześnie zmniejszy w znacznym stopniu emisję dwutlenku węgla do atmosfery (Report... 2011). Ekonomiczne aspekty produkcji bioetanolu z materiału lignocelulozowego na całym świecie do roku 2022 mogą wynieść nawet 50 miliardów dolarów (International... 2004).

Należy jednak podkreślić, że duże zapotrzebowanie na dendromasę przez sektor energetyczny może spowodować w przyszłości braki surowca drzewnego do celów przemysłowych, jak produkcja celulozy, wyrobów papierniczych oraz mebli i płyt drewnopochodnych (Stolarski i in. 2011). Dlatego też istnieje pilna potrzeba pozyskiwania dobrego jakościowo nieleśnego surowca lignocelulozowego. W celu zapewnienia stabilności dostaw dendromasy rolniczej dla rozwijającego się rynku niezbędny będzie rozwój celowych upraw SRWC. Plantacje takie powinny być zakładane na gruntach mało przydatnych pod uprawy roślin żywnościowych i paszowych.

W związku z powyższym celem prezentowanych tu badań było określenie plonowania, przeżywalności oraz cech morfologicznych roślin wierzby, topoli oraz robinii akacjowej – uprawianych w warunkach północno-wschodniej Polskiej, na słabym stanowisku glebowym, mało przydatnym pod uprawy konsumpcyjne lub paszowe, a ponadto ocena termofizyczna i chemiczna jakości dendromasy pozyskanej w krótkich 2-letnich rotacjach zbioru.

## 2. Materiał i metody

### 2.1. Charakterystyka stanowiska glebowego

Doświadczenie zlokalizowano na terenie Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Łęzanach (woj. warmińsko-mazurskie) należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie w obrębie gruntów miejscowości Samławki. Zgodnie z założoną koncepcją badań, wytypowano stosunkowo słabe stanowisko glebowe, tak aby w tych warunkach ocenić potencjał plonowania badanych gatunków w zależności od zastosowanego sposobu wzbogacenia gleby. Obszar pola doświadczalnego charakteryzował się stosunkowo płaską powierzchnią, natomiast jego położenie określono jako grzbietowe w falistym zróżnicowanym terenie. Przeprowadzone analizy glebowe wykazały, że doświadczenie zlokalizowano na glebie rdzawej, właściwej całkowitej wytworzonej z piasku luźnego. W poziomie próchnicznym A (0–21 cm) i wzbogacenia Bv (21–41 cm) występował piasek słabo gliniasty, a w poziomie skały macierzystej C (41–150 cm) piasek luźny. Gleba wykazała się odczynem obojętnym do zasadowego ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,3–7,9) (tab. 1).

Tabela 1

Fizyczno-chemiczne właściwości gleby

Właściwości	Jednostka	Poziom (cm)		
		A (0–21)	Bv (21–41)	C (41–150)
Porowatość ogólna	–	28,52	34,08	37,55
Makropory	$\varnothing > 30 \mu\text{m}$	19,30	22,75	30,42
Mezopory	$\varnothing > 30\text{--}0,2 \mu\text{m}$	14,80	15,82	10,32
Mikropory	$\varnothing < 0,2 \mu\text{m}$	1,82	3,42	1,97
pH (KCl)	–	7,05	6,30	7,92
N	$\text{mg kg}^{-1}$	3,90	1,10	0,51
P	$\text{mg kg}^{-1}$	25,5	15,3	9,6
K	$\text{mg kg}^{-1}$	12,8	9,6	2,6
Mg	$\text{mg kg}^{-1}$	6,6	7,6	2,3

Źródło: Stolarski i in. 2013a

Właściwości powietrzno-wodne uzależnione są w dużym stopniu od zawartości materii organicznej, a ponadto od składu granulometrycznego. Gleba charakteryzowała się niekorzystnymi warunkami powietrzno-wodnymi. W jej powierzchniowych warstwach, w piaskach słabo gliniastych zawartość mezooporów, które świadczą o ilości wody dostępnej dla roślin, była już niska, a w podścielających piaskach luźnych była bardzo niska. Taki układ w okre-

sach braku opadów atmosferycznych powodował trwały niedobór wody dla roślin. W całym profilu gleby dominowały makropory 19,3–30,42%. W ocenie zasobności składników przyswajalnych w poziomie próchnicznym wykazano bardzo wysoką zawartość fosforu i magnezu oraz wysoką potasu. W poziomie wzbogacenia (Bv) zawartość fosforu była wysoka, potasu średnia, a magnezu bardzo wysoka. Skała macierzysta była natomiast uboga we wszystkie trzy pierwiastki. Stosunkowo wysoka zasobność w poziomach próchnicznym i wzbogacenia wynikała z płuznego użytkowania gleby i stosowanego wcześniej dosyć wysokiego nawożenia pod rośliny zbożowe uprawiane na tym obszarze.

## 2.2. Założenie i prowadzenie eksperymentu

Przedplonem dla roślin wierzby, topoli i robinii było pszenżyto uprawiane w płodozmianie. Po zbiorze pszenżyta zastosowano oprysk Roundupem w ilości  $5 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Następnie po około trzech tygodniach wykonano talerzowanie pola, a późną jesienią 2009 roku orkę zimową na głębokość 30 cm. Wiosną 2010 roku pole zabronowano, wytyczono znaki i ręcznie wysadzono zrzesy wierzby i topoli oraz sadzonki robinii akacjowej. Zrzesy miały długość 25 cm i średnicę 0,9–1,1 cm, natomiast ukorzenione sadzonki robinii osiągały wysokość około 30–35 cm. Po wysadzeniu zrzesów wierzby i topoli zastosowano roztwór herbicydu doglebowego Guardian Complete MIX 664 SE z wodą w stosunku 3,5:300  $\text{dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Na obiekty z robinią nie stosowano oprysku herbicydem. W okresie wegetacji w 2010 roku trzykrotnie wykonano pielęgnację mechaniczną roślin.

Podstawą prezentowanych badań było dwuczynnikowe ścisłe doświadczenie założone w III dekadzie kwietnia 2010 roku. Pierwszym czynnikiem doświadczenia były trzy gatunki roślin: wierzba, topola i robinia akacjowa. Wierzba z gatunku *Salix viminalis*, klon UWM 006 pochodził z kolekcji Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Topola *Populus nigra* × *P. Maximowiczii* Henry cv. Max-5 pozyskana została z północnej Austrii. Robinia akacjowa (*Robinia pseudo-acacia*), gatunek rodzimy, pozyskano z krajowej szkółki leśnej.

Czynnikiem drugim był sposób wzbogacenia gleby, określony mianem „nawożenie”. W ramach tego czynnika wyróżniono zastosowanie ligniny (L), nawożenie mineralne (N), zastosowanie szczepionki mikoryzowej (M), lignina + nawożenie mineralne (L + N), mikoryza + nawożenie mineralne (M + N), lignina + mikoryza (L + M); lignina + mikoryza + nawożenie mineralne (L + M + N) oraz obiekt kontrolny bez żadnego wzbogacania gleby (K).

Doświadczenie założono w zagęszczeniu 11,11 tys. roślin na 1 ha. Zastosowano pasowy system sadzenia, w którym 2 rzędy w pasie rozmieszczono

w odległości międzyrzędzia 0,75 m, następnie międzyrzędzie 1,50 m oddzielające kolejne 2 rzędy w pasie o międzyrzędziu 0,75 m itd. Odległość roślin w rzędzie wynosiła 0,80 m. Doświadczenie założono w trzech powtórzeniach, a powierzchnia jednego poletka wynosiła 18,0 m<sup>2</sup>.

Ligninę, pozostałość po produkcji wyrobów papierniczych, w ilości 13,3 Mg ha<sup>-1</sup> zastosowano wiosną przed założeniem doświadczenia. Rozrzucano ją powierzchniowo na glebę za pomocą przyczepianego rozsiewacza nawozów przed wykonaniem talerzowania i orki. W efekcie końcowym została ona wymieszana z glebą i wprowadzona w głąb jej profilu. Zastosowana lignina zawierała 61,72% materii organicznej i charakteryzowała się bardzo kwaśnym odczynem. Zawartość fosforu i potasu była bardzo niska, a magnezu niska.

W I dekadzie września 2010 roku, po wytworzeniu przez rośliny wierzby, topoli i robinii akacjowej odpowiedniego systemu korzeniowego, zastosowano żywą grzybnię mikoryzową – oddzielnie dla każdego gatunku. Szczepionkę w postaci płynnej zawiesiny w ilości 30–35 cm<sup>3</sup> pod każdą rośliną aplikowano za pomocą ręcznego aplikatora. Generalnie wykonywano doglebowo jedno nakłucie obok każdej rośliny przewidzianej do zabiegu mikoryzacji, tak aby wprowadzić szczepionkę jak najbliżej systemu korzeniowego. Żywą grzybnię zastosowaną do mikoryzy wierzby została otrzymana w wyniku rozmnożenia grzybów mikoryzowych wyizolowanych z korzeni wierzby *Salix caprea* rosnącej w Puszczy Augustowskiej w Polsce. Topola została zamikoryzowana szczepionką wyizolowaną z korzeni topoli energetycznej w Hiszpanii, którą to plantację wcześniej zamikoryzowano izolatem wyizolowanym z topoli rosnącej w Polsce w Słowińskim Parku Narodowym, czyli była to reizolacja. Szczepionka do robinii akacjowej była mieszanką grzybów mikoryzowych stosowanych w leśnictwie. Robinia nie wykazuje specyficznych gatunkowych mikoryz, a jej korzenie współżyją z wieloma różnymi grzybami.

W pierwszym roku wegetacji nie stosowano nawożenia mineralnego ze względu na powolny rozwój systemu korzeniowego roślin, zaś przed rozpoczęciem drugiego okresu wegetacji (2011) ręcznie wysiano fosfor i potas. Fosfor zastosowano w ilości 13 kg ha<sup>-1</sup> w postaci superfosfatu potrójnego, natomiast potas w postaci soli potasowej w ilości 50 kg ha<sup>-1</sup>. Azot wysiewano w dwóch dawkach: pierwszą w postaci saletry amonowej zastosowano tuż przed rozpoczęciem wegetacji roślin 2011 roku w dawce 50 kg ha<sup>-1</sup>, a drugą w tej samej formie (40 kg ha<sup>-1</sup>) w II dekadzie czerwca 2011 roku.

### 2.3. Pomiary biometryczne i określenie plonowania

Po zakończeniu pierwszego (2010) i drugiego (2011) okresu wegetacji w pierwszej dekadzie grudnia określono obsadę roślin na poszczególnych



poletkach, a następnie przeliczono ją na powierzchnię 1 ha. Ponadto liczono liczbę pędów na roślinie, uwzględniając pędy żywe powyżej 1,5 m długości. Na 10 roślinach na każdym poletku wykonano pomiary biometryczne: wysokość roślin, średnicę pędu (pomiar wykonano 0,5 m od powierzchni gleby). W celu oceny plonowania po drugim okresie wegetacji w grudniu 2011 roku ścinano całe rośliny przy użyciu piły spalinowej na wysokości 5–10 cm nad powierzchnią gleby. Pozyskane z każdego poletka rośliny ważono wagą elektroniczną, określając tym samym plon świeżej biomasy z danego obiektu. Na podstawie plonu świeżej biomasy oraz jej wilgotności wyliczono plon suchej biomasy.

## **2.4. Pozyskanie dendromasy do analiz laboratoryjnych**

Po zbiorze poszczególnych gatunków bezpośrednio na polu całe pędy rozdrabniano na zrębki za pomocą rębaka Junkkari HJ 10 G, współpracującego z ciągnikiem New Holland o mocy 130 KM. W trakcie zrębkowania pędów z każdego poletka dla badanych czynników pobierano reprezentatywne próby biomasy do analiz laboratoryjnych, które pakowano w worki foliowe i transportowane do laboratorium Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

## **2.5. Badania laboratoryjne**

Analizy termofizyczne i chemiczne dla każdej kombinacji wykonano w trzech powtórzeniach. Wilgotność oznaczono metodą suszarkowo-wagową. W tym celu suszono biomasę w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy. Następnie rozdrabniano ją na młynku analitycznym IKA KMF 10 basic przy użyciu sita o średnicy oczek 1 mm. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość popiołu oraz części lotnych i stałych w automatycznym analizatorze termogravimetrycznym ELTRA TGA-THERMOSTEP. Ciepło spalania oznaczano w kalorymetrze IKA C 2000 w oparciu o metodę dynamiczną, a następnie obliczono wartość opałową paliw przy ich wilgotności roboczej (Kopetz i in. 2007).

Zawartość węgla, wodoru i siarki oznaczono za pomocą automatycznego analizatora ELTRA CHS 500, azotu – metodą Kjeldahla z użyciem mineralizatora K-435 oraz destylarki B-324 BUCHI, natomiast chloru – z zastosowaniem mieszaniny Eschki. Przed oznaczeniem zawartości celulozy, ligniny i holocelulozy przeprowadzono ekstrakcję 96% alkoholem etylowym w aparacie Soxhleta. Materiał po ekstrakcji suszono w warunkach laboratoryjnych do stałej masy, natomiast substancje wyekstrahowane suszono w suszarce w tem-

peraturze  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Zawartość celulozy oznaczono metodą Seiferta, ligniny – metodą Tappi, pentozanów – metodą Tollensa, holocelluloz – w oparciu o PN-75/50092. Oznaczenie odczynu pH wykonano zgodnie z normą PN-Z-15011-1.

## 2.6. Analiza statystyczna

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA. Za pomocą testu wielokrotnego SNK (Studenta Newmana-Keulsa), łączącego średnie o podobnych wartościach, wyznaczono grupy jednorodne przy poziomie istotności  $\alpha = 0,01$ . Ponadto dla badanych cech obliczono średnie arytmetyczne oraz odchylenie standardowe. Wszystkie analizy statystyczne opracowano za pomocą pakietu komputerowego STATISTICA 9.0.

## 3. Wyniki

### 3.1. Warunki klimatyczne

W okresie prowadzenia badań (2010–2011) średnia temperatura powietrza w okresie wegetacji roślin była wyższa niż wartość z wielolecia (tab. 2), natomiast średnia temperatura dla całego 2010 roku niższa o  $0,8^\circ\text{C}$  niż z wielolecia. W okresie wegetacji kwiecień, maj, wrzesień i październik 2010 roku były chłodniejsze niż analogiczne miesiące w wieloleciu. W pozostałych miesiącach okresu wegetacji średnie temperatury miesięczne były wyższe niż z wielolecia. Najcieplejszym miesiącem był lipiec ( $21,4^\circ\text{C}$ ) – temperatura w tym miesiącu była o  $2,9^\circ\text{C}$  wyższa niż w wieloleciu. Również w 2011 roku najcieplejszym miesiącem w okresie wegetacji był lipiec.

Suma opadów w całym 2010 roku była o 14,4% wyższa niż w latach 1998–2007 (tab. 3), również w okresie wegetacji była wyższa o prawie 18% niż w wieloleciu. Szczególnie mało opadów odnotowano w kwietniu (17,1 mm), co stanowiło zaledwie 47,5% wartości z wielolecia i miało niekorzystny wpływ na nowo wysadzone rośliny. W maju i czerwcu opady były wyższe niż w wieloleciu – odpowiednio 197% i 115%. W lipcu były znów niższe (76% wartości z wielolecia), po czym w sierpniu spadło aż 191 mm opadu (222% wartości opadów z wielolecia). Następne miesiące okresu wegetacji charakteryzowały się niższymi opadami w porównaniu do wielolecia. Z kolei suma opadów w okresie wegetacji 2011 roku (447,3 mm) utrzymała się praktycznie na tym samym poziomie jak średnia z lat 1998–2007. Od początku wiosny 2011 roku opady

Tabela 2

Średnie temperatury powietrza (°C) w latach 2010–2011 oraz z wielolecia

Miesiąc \ Rok	2010	Odchylenie	2011	Odchylenie	1998–2007
Styczeń	-8,9	-6,9	-1,7	0,3	-2,0
Luty	-3,0	-1,5	-6,0	-4,5	-1,5
Marzec	2,4	0,8	1,9	0,3	1,6
<b>Kwiecień</b>	<b>8,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>9,8</b>	<b>1,6</b>	<b>8,2</b>
<b>Maj</b>	<b>12,7</b>	<b>-0,4</b>	<b>13,3</b>	<b>0,2</b>	<b>13,1</b>
<b>Czerwiec</b>	<b>16,5</b>	<b>0,7</b>	<b>17,4</b>	<b>1,6</b>	<b>15,8</b>
<b>Lipiec</b>	<b>21,4</b>	<b>2,9</b>	<b>18,5</b>	<b>0,0</b>	<b>18,5</b>
<b>Sierpień</b>	<b>19,7</b>	<b>2,1</b>	<b>18,1</b>	<b>0,5</b>	<b>17,6</b>
<b>Wrzesień</b>	<b>12,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>14,8</b>	<b>1,4</b>	<b>13,4</b>
<b>Październik</b>	<b>5,7</b>	<b>-2,5</b>	<b>8,8</b>	<b>0,6</b>	<b>8,2</b>
Listopad	4,7	2,1	3,4	0,8	2,6
Grudzień	-6,6	-6,1	2,2	2,7	-0,5
Średnia w okresie wegetacji (IV–X)	13,8	0,3	14,4	0,8	13,5
Średnia w okresie (I–XII)	7,1	-0,8	8,4	0,5	7,9

Źródło: Stolarski i in. 2013a

były niższe niż z wielolecia. W marcu wynosiły 19,1 mm, w kwietniu 33,2 mm, a w maju 46,8 mm, czyli odpowiednio: 49%, 92% i 81% wartości z wielolecia. Tak więc na początku drugiego okresu wegetacji występował niedobór opadów dla rozpoczynających wegetację roślin. Następnie w czerwcu opady były o niecałe 2% wyższe niż z wielolecia, a w lipcu wynosiły aż 154 mm i były 2-krotnie wyższe w porównaniu do wartości z wielolecia. W kolejnych miesiącach okresu wegetacji 2011 roku opady były niższe niż w wieloleciu.

Należy stwierdzić, że generalnie rok 2010 był zbliżony pod względem średnich temperatur powietrza. Pierwsze dwa miesiące były co prawda chłodniejsze, ale nie odnotowano wiosennych przymrozków. Dlatego też rośliny miały dobre warunki termiczne do wzrostu i rozwoju. Ilość opadów zarówno w całym roku, jak i okresie wegetacji była wyższa w porównaniu do analogicznych wartości z wielolecia, jednakże ich rozłożenie było zróżnicowane, co niewątpliwie ograniczało wzrost i rozwój roślin. Niskie opady w kwietniu wywarły szczególnie niekorzystny wpływ na sadzonki robinii akacyjowej, natomiast zrzesy wierzby i topoli znosiły te warunki zdecydowanie korzystniej. Wynikało to z faktu, że zrzesy umieszczone w glebie zachowały wilgotność wewnętrzną i w wyniku wysokich opadów w maju kontynuowały wegetację, natomiast niektóre sadzonki zielne robinii zaschły po wysadzeniu i nie wznowi-

ły wegetacji mimo opadów. W doświadczeniu nie stosowano żadnego nawadniania roślin, aby zweryfikować udatność zakładania plantacji w odniesieniu do warunków potencjalnych plantacji komercyjnych.

Drugi rok wegetacji (2011) był generalnie cieplejszy w porównaniu do wielolecia, choć suma opadów pozostała praktycznie na tym samym poziomie. Jednakże rozłożenie opadów atmosferycznych było niekorzystne.

Tabela 3

Sumy opadów (mm) w latach 2010–2011 oraz z wielolecia

Miesiąc \ Rok	2010	% z wielolecia	2011	% z wielolecia	1998–2007
Styczeń	22,5	52,3	32,1	74,7	43,0
Luty	18,7	56,7	56,5	171,2	33,0
Marzec	30,6	78,5	19,1	49,0	39,0
<b>Kwiecień</b>	<b>17,1</b>	<b>47,5</b>	<b>33,2</b>	<b>92,2</b>	<b>36,0</b>
<b>Maj</b>	<b>114,4</b>	<b>197,2</b>	<b>46,8</b>	<b>80,7</b>	<b>58,0</b>
<b>Czerwiec</b>	<b>89,9</b>	<b>115,3</b>	<b>79,5</b>	<b>101,9</b>	<b>78,0</b>
<b>Lipiec</b>	<b>58,5</b>	<b>76,0</b>	<b>154,0</b>	<b>200,0</b>	<b>77,0</b>
<b>Sierpień</b>	<b>191,0</b>	<b>222,1</b>	<b>84,9</b>	<b>98,7</b>	<b>86,0</b>
<b>Wrzesień</b>	<b>30,1</b>	<b>56,8</b>	<b>18,3</b>	<b>34,5</b>	<b>53,0</b>
<b>Październik</b>	<b>26,2</b>	<b>44,4</b>	<b>30,6</b>	<b>51,9</b>	<b>59,0</b>
Listopad	90,8	178,0	9,6	18,8	51,0
Grudzień	62,0	140,9	24,5	55,7	44,0
Suma w okresie wegetacji (IV–X)	527,2	117,9	447,3	100,1	447,0
Suma w okresie (I–XII)	751,8	114,4	589,1	89,7	657,0

Źródło: Stolarski i in. 2013a

### 3.2. Przeżywalność, cechy biometryczne oraz stan zdrowotny roślin

Liczba roślin (2010 i 2011) oraz ich cechy biometryczne (2010) były istotnie zróżnicowane tylko w obrębie gatunków. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w obrębie czynnika drugiego oraz w interakcjach pomiędzy nimi. Liczba roślin w doświadczeniu na koniec pierwszego roku wegetacji (2010) wyniosła średnio 9544,8 sztuk ha<sup>-1</sup>, a wartość odchylenia standardowego ponad 1,6 tys. sztuk ha<sup>-1</sup> (tab. 4). Spośród badanych gatunków najwięcej przeżyło roślin wierzby (10 579 sztuk ha<sup>-1</sup>) i zbliżoną obsadę roślin stwierdzono w przypadku topoli. Natomiast istotnie najmniej przeżyło roślin robinii akacjowej (7 662 sztuk ha<sup>-1</sup>).

Tabela 4  
Liczba oraz ubytki roślin badanych gatunków po pierwszym i drugim roku wegetacji

Gatunek	Rok wegetacji	Liczba roślin (szt. ha <sup>-1</sup> )	Ubytki (%)
Robinia	2010	7662,0 ± 1330,7 <sup>b</sup>	31,04 ± 11,9 <sup>a</sup>
Topola		10393,5 ± 665,0 <sup>a</sup>	6,46 ± 5,9 <sup>b</sup>
Wierzba		10578,7 ± 826,9 <sup>a</sup>	4,79 ± 7,4 <sup>b</sup>
Średnio		9544,8 ± 1655,7	14,10 ± 14,9
Robinia	2011	6574,1 ± 1337,6 <sup>b</sup>	40,83 ± 12,0 <sup>a</sup>
Topola		10393,5 ± 665,0 <sup>a</sup>	6,46 ± 6,0 <sup>b</sup>
Wierzba		10578,7 ± 826,9 <sup>a</sup>	4,79 ± 7,4 <sup>b</sup>
Średnio		9182,1 ± 2097,4	17,36 ± 18,9

odch. stand.(±) – odchylenie standardowe; a, b, c... – grupy jednorodnie

Źródło: Stolarski i in. 2013a.

W badaniach stwierdzono, że ubytki roślin wierzby po pierwszym roku wegetacji wynosiły średnio 4,79%, w przypadku topoli – średnio 6,46%, a zdecydowanie najwyższe były u robinii akacjowej – średnio 31,04%. Tak duże ubytki roślin robinii akacjowej były wynikiem niskich opadów w kwietniu. Susza w okresie wysadzenia i przyjmowania się zielnych sadzonek tego gatunku spowodowała zamieranie młodych roślin i pomimo wysokich opadów w maju nie wznowiły one wegetacji. Natomiast zrzesy wierzby i topoli znosiły te warunki zdecydowanie korzystniej, gdyż zachowały wilgoć wewnętrzną i wysokie opady w maju pobudziły je do kontynuowania wegetacji. Liczba roślin w doświadczeniu po drugim roku wegetacji na koniec 2011 roku była niższa niż po pierwszym roku wegetacji i wyniosła średnio 9182,1 sztuk ha<sup>-1</sup>. Liczba roślin wierzby i topoli była na tym samym poziomie jak po pierwszym roku wegetacji, natomiast w przypadku robinii akacjowej zmniejszyła się o ponad tysiąc sztuk ha<sup>-1</sup>. W związku z powyższym po drugim roku uprawy ubytki roślin robinii akacjowej zwiększyły się do aż 40,83%.

Istotnie największą liczbę pędów w pierwszym okresie wegetacji stwierdzono u wierzby – średnio 1,69 szt. (tab. 5). Z kolei robinia akacjowa charakteryzowała się istotnie najniższą liczbą pędów – średnio 1,20 sztuk, choć posiadała zdecydowanie więcej rozgałęzień II, a nawet III rzędu. Wysokość roślin na końcu pierwszego okresu wegetacji w doświadczeniu to średnio 1,79 m, a wartość odchylenia standardowego wyniosła 0,5. Istotnie najwyższe rośliny wykształciła wierzba 2,34 m. Rośliny topoli były średnio o 0,5 m niższe w porównaniu do roślin wierzby. Zdecydowanie najniższe rośliny dała robinia akacjowa – średnio 1,20 m. Rośliny topoli charakteryzowały się istotnie najgrubszymi pędami – średnio o średnicy 14,96 mm, a wartość odchylenia standardowego wynosiła 1,55 mm. Pędy wierzby były średnio o 1,34 mm, a robinii akacjowej o 6,02 mm cieńsze niż topoli.

Tabela 5

Cechy biometryczne roślin po pierwszym roku wegetacji (2010)

Gatunek	Liczba pędów (szt.)	Wysokość rośliny (m)	Średnica pędu (mm)
Robinia	1,20 ± 0,1 <sup>c</sup>	1,20 ± 0,16 <sup>c</sup>	8,94 ± 1,8 <sup>c</sup>
Topola	1,51 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,84 ± 0,17 <sup>b</sup>	14,96 ± 1,5 <sup>a</sup>
Wierzba	1,69 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,34 ± 0,20 <sup>a</sup>	13,62 ± 2,2 <sup>b</sup>
Średnio	1,47 ± 0,3	1,79 ± 0,50	12,51 ± 3,2

odch. stand.(±) – odchylenie standardowe; a, b, c... – grupy jednorodne

Źródło: Stolarski i in. 2013a

Istotnie najwyższą liczbę pędów w drugim roku wegetacji stwierdzono u robinii akacjowej – średnio 1,98 szt. (tab. 6). Liczba pędów u robinii akacjowej w 2011 roku zwiększyła się w porównaniu do pierwszego okresu wegetacji (2010) ze względu na zgryzienie przez zwierzynę jednorocznych pędów zimą, wskutek czego rośliny wytworzyły nowe pędy. Ponadto robinia wytworzyła zdecydowanie więcej rozgałęzień II, a nawet III rzędu. Liczba pędów na karpie u wierzby była na zbliżonym poziomie do robinii, tj. w przedziale 1,57–2,03 szt. Istotnie niższą liczbę pędów na karpie oznaczono u topoli – średnio 1,43 sztuk. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w wartości tej cechy pomiędzy analizowanymi obiektami nawożenia. Liczba pędów na karpie była istotnie ujemnie skorelowana z obsadą roślin, ich wysokością oraz średnicą pędów (tab. 7).

Wysokość roślin po drugim okresie wegetacji wyniosła w doświadczeniu średnio 3,57 m, a wartość odchylenia standardowego to 1,06 (tab. 6). Spośród badanych gatunków istotnie najwyższe rośliny wykształciła wierzba (4,30 m). W obiekcie kontrolnym wartość tej cechy wynosiła 4,02 m, a w obiekcie, gdzie zastosowano ligninę, mikoryzę i nawożenie, było to 4,83 m. Rośliny topoli były średnio nieznacznie niższe w porównaniu do roślin wierzby (4,22 m). Wysokość roślin topoli zawierała się w przedziale 3,88–4,70 m. Spośród badanych gatunków istotnie najniższe rośliny wykształciła robinia akacjowa (średnio 2,18 m) ze względu na fakt, że jej pędy odrastały po zgryzieniu przez zwierzynę. Analizując wysokość roślin pomiędzy analizowanymi obiektami nawożenia, stwierdzono, że istotnie najwyższe rośliny uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano łącznie ligninę i mikoryzę oraz nawożenie (średnio 3,88 m). Istotnie najniższe rośliny wystąpiły w obiekcie kontrolnym (średnio 3,29 m). Średnia wysokość roślin w pozostałych kombinacjach znajdowała się w jednej środkowej grupie jednorodnej. Wysokość roślin była istotnie dodatnio skorelowana ze średnicą pędu (tab. 7).

Tabela 6

Cechy biometryczne roślin po drugim roku wegetacji

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	Liczba pędów (szt.)	Wysokość rośliny (m)	Średnica pędu (mm)
Robinia	K	1,97 ± 0,4	1,98 ± 0,49	15,67 ± 4,2
	L	1,67 ± 0,2	2,22 ± 0,30	16,57 ± 3,2
	N	2,23 ± 0,3	1,74 ± 0,20	14,67 ± 0,7
	L + N	2,07 ± 0,1	2,44 ± 0,09	19,00 ± 3,2
	M	2,23 ± 0,3	2,01 ± 0,48	14,13 ± 1,5
	M + N	2,20 ± 0,5	2,35 ± 0,30	16,37 ± 0,4
	L + M	1,83 ± 0,5	2,30 ± 0,35	17,73 ± 4,0
	L + M + N	1,67 ± 0,2	2,43 ± 0,21	19,47 ± 1,8
Średnio		1,98 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,18 ± 0,36 <sup>b</sup>	16,70 ± 2,9 <sup>c</sup>
Topola	K	1,30 ± 0,2	3,88 ± 0,04	28,80 ± 1,2
	L	1,50 ± 0,3	4,08 ± 0,52	30,27 ± 5,3
	N	1,53 ± 0,2	4,33 ± 0,38	32,40 ± 1,0
	L + N	1,43 ± 0,2	4,70 ± 0,12	35,77 ± 2,7
	M	1,43 ± 0,3	4,04 ± 0,12	28,90 ± 1,2
	M + N	1,37 ± 0,3	4,32 ± 0,48	33,17 ± 3,2
	L + M	1,40 ± 0,1	4,00 ± 0,13	29,13 ± 1,1
	L + M + N	1,50 ± 0,2	4,39 ± 0,34	32,17 ± 2,7
Średnio		1,43 ± 0,2 <sup>b</sup>	4,22 ± 0,37 <sup>a</sup>	31,33 ± 3,3 <sup>a</sup>
Wierzba	K	1,57 ± 0,2	4,02 ± 0,57	24,13 ± 3,6
	L	1,67 ± 0,3	4,19 ± 0,50	26,73 ± 3,9
	N	1,83 ± 0,1	4,05 ± 0,24	26,37 ± 2,9
	L + N	1,93 ± 0,4	4,19 ± 0,38	27,33 ± 1,5
	M	1,80 ± 0,5	4,20 ± 0,26	22,67 ± 2,6
	M + N	2,03 ± 0,6	4,34 ± 0,32	28,47 ± 5,4
	L + M	1,83 ± 0,1	4,58 ± 0,62	27,23 ± 5,9
	L + M + N	2,03 ± 0,3	4,83 ± 0,15	29,60 ± 1,7
Średnio		1,84 ± 0,3 <sup>a</sup>	4,30 ± 0,43 <sup>a</sup>	26,57 ± 3,8 <sup>b</sup>
Średnio	K	1,61 ± 0,4	3,29 ± 1,06 <sup>b</sup>	22,87 ± 6,4 <sup>bc</sup>
	L	1,61 ± 0,2	3,50 ± 1,03 <sup>ab</sup>	24,52 ± 7,1 <sup>b</sup>
	N	1,87 ± 0,4	3,37 ± 1,26 <sup>ab</sup>	24,48 ± 8,0 <sup>b</sup>
	L + N	1,81 ± 0,4	3,78 ± 1,04 <sup>ab</sup>	27,37 ± 7,6 <sup>a</sup>
	M	1,82 ± 0,5	3,42 ± 1,10 <sup>ab</sup>	21,90 ± 6,6 <sup>c</sup>
	M + N	1,87 ± 0,6	3,67 ± 1,04 <sup>ab</sup>	26,00 ± 8,1 <sup>b</sup>
	L + M	1,69 ± 0,3	3,63 ± 1,09 <sup>ab</sup>	24,70 ± 6,4 <sup>b</sup>
	L + M + N	1,73 ± 0,3	3,88 ± 1,13 <sup>a</sup>	27,08 ± 6,1 <sup>ab</sup>
Średnio z doświadczenia		1,75 ± 0,4	3,57 ± 1,06	24,86 ± 7,0

odch. stand.(±) – odchylenie standardowe; a, b, c... – grupy jednorodne

Źródło: Stolarski i in. 2013a

Tabela 7

Współczynniki korelacji *r*-Pearsona dla wybranych cech

Wyszczególnienie	Liczba roślin	Liczba pędów na karpie	Wysokość rośliny	Średnica pędu	Plon świeżej masy	Plon suchej masy
Liczba roślin	1,00	-0,36*	0,82*	0,69*	0,78*	0,77*
Liczba pędów na karpie	-0,36*	1,00	-0,35*	-0,44*	-0,27*	-0,24*
Wysokość rośliny	0,82*	-0,35*	1,00	0,90*	0,87*	0,86*
Średnica pędu	0,69*	-0,44*	0,90*	1,00	0,82*	0,80*
Plon świeżej masy	0,78*	-0,27*	0,87*	0,82*	1,00	1,00*
Plon suchej masy	0,77*	-0,24*	0,86*	0,80*	1,00*	1,00

\* współczynniki korelacji istotne na poziomie  $p \leq 0,05$  przy  $n = 72$ 

Źródło: Stolarski i in. 2013a

Istotnie największą średnicę pędu oznaczono u topoli – średnio 31,33 mm, u wierzby była ona istotnie niższa i wynosiła średnio 26,57 mm (tab. 6), natomiast u robinii akacjowej z wymienionych powyżej powodów była ona najniższa – średnio 16,70 mm. Topola wykształciła najgrubsze pędy w obiekcie, w którym zastosowano łącznie ligninę i nawożenie mineralne (35,77 mm), a wierzba w obiekcie, w którym zastosowano łącznie ligninę i mikoryzę oraz nawożenie (29,60 mm). Analizując średnicę pędu pomiędzy analizowanymi obiektami, stwierdzono, że istotnie najgrubsze pędy uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano łącznie ligninę i nawożenie (średnio 27,37 mm), natomiast istotnie najcieńsze były pędy w obiekcie z mikoryzą (średnio 21,90 mm).

W okresie wegetacji 2010 i 2011 roku rośliny badanych gatunków generalnie nie były zasiedlane przez patogeny. W związku z tym nie zaobserwowano żadnego negatywnego wpływu chorób czy szkodników na wzrost i rozwój roślin. Liście roślin wierzby, topoli i robinii akacjowej do końca okresu wegetacji 2010 roku posiadały intensywne, naturalne, zielone zabarwienie. Natomiast w połowie października, po wystąpieniu przymrozków jesiennych, zaschły liście na roślinach robinii akacjowej. Liście wierzby i topoli częściowo przebarwiły się do koloru czarnego, ale nie zaschły całkowicie i pozostały zielone jeszcze do końca października. W połowie października 2011 roku, po wystąpieniu przymrozków jesiennych, pierwsze opadły liście z roślin topoli, które częściowo przebarwiły się do koloru czarnego. Ponadto podkreślić należy, że w okresie zimy 2011 roku rośliny robinii akacjowej zostały zgryzione przez dziką zwierzynę, głównie sarny i jelenie. Jak wykazano powyżej, ubytki roślin robinii akacjowej zwiększyły się o około 10% w porównaniu do pierwszego okresu wegetacji. Przyczyną tego stanu mogło być wymarznienie części roślin, jak również ogryzanie młodych pędów z kory przez dziką zwierzynę. Dlatego też można wnioskować, że potencjalne plantacje robinii akacjowej powinny być



ogradzane w celu zabezpieczenia ich przed zniszczeniem przez dziką zwierzynę. W doświadczeniu własnym ogrodzono eksperyment siatką leśną, co okazało się skutecznym zabezpieczeniem przed dziką zwierzyną.

### 3.3. Plonowanie roślin

Plonowanie roślin było istotnie zróżnicowane przez gatunki oraz sposób wzbogacenia gleby. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w obrębie interakcji pomiędzy czynnikami doświadczenia.

Po dwóch latach uprawy plon świeżej masy wierzby był najwyższy i wynosił średnio  $20,87 \text{ Mg ha}^{-1}$  przy wartości odchylenia standardowego  $6,90$  (tab. 8, fot. 1). Topola (fot. 2) plonowała na tym samym poziomie jak wierzba, natomiast robinia akacjowa (fot. 3) około 5-krotnie niżej. Spośród zastosowanych sposobów wzbogacenia gleby w obiektach, w których zastosowano ligninę z nawożeniem, mikoryzę z nawożeniem oraz ligninę z nawożeniem i mikoryzą, uzyskano najwyższy plon świeżej dendromasy, tj. na tym samym poziomie. W drugiej grupie jednorodnej znalazł się obiekt, w którym zastosowano tylko nawożenie. Pozostałe trzy kombinacje (kontrola, lignina i mikoryza) uplasowały się w trzeciej grupie jednorodnej. Plonowanie roślin było istotnie dodatnio skorelowane z wysokością, średnicą pędów oraz liczbą roślin, natomiast ujemnie z liczbą pędów na roślinie (tab. 7).

Plon suchej masy po dwóch latach wegetacji wierzby wynosił średnio  $10,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ , przy czym u topoli był o około 8% niższy, a u robinii wynosił zaledwie  $2,28 \text{ Mg ha}^{-1}$  (tab. 8). W przeliczeniu na rok użytkowania plantacji plon suchej biomasy u badanych gatunków wynosił odpowiednio:  $5,09$ ,  $4,67$  i  $1,14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ . Spośród zastosowanych sposobów wzbogacenia gleby najwyższy plon suchej masy uzyskano w kombinacji, w której zastosowano nawożenie z mikoryzą ( $4,22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ ). Na tym samym poziomie plonowały rośliny uprawiane w kombinacjach: lignina z nawożeniem oraz lignina z nawożeniem i mikoryzą. W kombinacji, w której zastosowano samo nawożenie, plon był niższy o około 8,6% w porównaniu do plonu z najlepszego obiektu. Natomiast w ostatniej grupie jednorodnej pod względem plonu suchej masy znalazły się obiekty z samą ligniną, mikoryzą oraz kombinacje kontrolne. W tych ostatnich dwóch przypadkach uzyskane plony były średnio o prawie 38% niższe w porównaniu do obiektu, w którym zastosowano mikoryzę z nawożeniem. W całym eksperymencie topola najwyżej plonowała w obiekcie z ligniną i nawożeniem ( $6,47 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1} \text{ s.m.}$ ), natomiast wierzba dała najwyższy plon, gdy była uprawiana w kombinacji z ligniną, nawożeniem i mikoryzą ( $6,38 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

Tabela 8

## Plonowanie roślin po drugim roku wegetacji

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	Plon świeżej masy (Mg ha <sup>-1</sup> )	Plon suchej masy (Mg ha <sup>-1</sup> )	Plon suchej masy (Mg ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> )
Robinia	K	4,16 ± 1,45	2,17 ± 0,78	1,08 ± 0,39
	L	4,42 ± 1,39	2,37 ± 0,75	1,19 ± 0,37
	N	3,76 ± 1,20	1,95 ± 0,62	0,97 ± 0,31
	L + N	6,07 ± 2,70	3,20 ± 1,42	1,60 ± 0,71
	M	4,86 ± 2,23	2,59 ± 1,13	1,29 ± 0,56
	M + N	3,13 ± 1,00	1,65 ± 0,52	0,82 ± 0,26
	L + M	4,00 ± 3,05	2,14 ± 1,24	1,07 ± 0,62
	L + M + N	4,12 ± 1,28	2,18 ± 0,68	1,09 ± 0,34
Średnio		4,32 ± 2,28 <sup>b</sup>	2,28 ± 1,21 <sup>b</sup>	1,14 ± 0,60 <sup>b</sup>
Topola	K	17,32 ± 0,77	8,08 ± 0,35	4,04 ± 0,17
	L	19,84 ± 3,15	9,21 ± 1,56	4,60 ± 0,78
	N	20,01 ± 4,36	9,11 ± 1,97	4,55 ± 0,99
	L + N	28,19 ± 7,09	12,94 ± 3,16	6,47 ± 1,58
	M	17,74 ± 5,73	8,32 ± 2,68	4,16 ± 1,34
	M + N	24,79 ± 4,70	11,47 ± 2,25	5,73 ± 1,12
	L + M	13,13 ± 0,93	6,13 ± 0,45	3,06 ± 0,22
	L + M + N	20,52 ± 6,41	9,50 ± 2,99	4,75 ± 1,50
Średnio		20,19 ± 5,90 <sup>a</sup>	9,34 ± 2,70 <sup>a</sup>	4,67 ± 1,35 <sup>a</sup>
Wierzba	K	16,26 ± 2,89	8,12 ± 1,58	4,06 ± 1,30
	L	18,56 ± 3,93	8,95 ± 2,28	4,47 ± 1,14
	N	24,78 ± 8,05	12,25 ± 4,00	6,13 ± 1,98
	L + N	18,04 ± 3,31	8,82 ± 2,21	4,41 ± 1,11
	M	15,56 ± 1,35	7,47 ± 0,66	3,74 ± 0,33
	M + N	25,04 ± 4,45	12,21 ± 2,19	6,10 ± 1,10
	L + M	22,48 ± 6,87	10,80 ± 3,41	5,40 ± 1,71
	L + M + N	26,27 ± 2,36	12,77 ± 1,24	6,38 ± 0,62
Średnio		20,87 ± 6,90 <sup>a</sup>	10,17 ± 3,36 <sup>a</sup>	5,09 ± 1,68 <sup>a</sup>
Średnio	K	12,58 ± 6,85 <sup>b</sup>	6,12 ± 3,27 <sup>b</sup>	3,06 ± 1,64 <sup>b</sup>
	L	14,27 ± 7,82 <sup>b</sup>	6,84 ± 3,65 <sup>b</sup>	3,42 ± 1,83 <sup>b</sup>
	N	16,18 ± 8,01 <sup>ab</sup>	7,77 ± 3,84 <sup>ab</sup>	3,88 ± 1,92 <sup>ab</sup>
	L + N	17,43 ± 7,12 <sup>a</sup>	8,32 ± 3,56 <sup>a</sup>	4,16 ± 1,78 <sup>a</sup>
	M	12,72 ± 4,85 <sup>b</sup>	6,13 ± 2,87 <sup>b</sup>	3,06 ± 1,44 <sup>b</sup>
	M + N	17,65 ± 8,48 <sup>a</sup>	8,44 ± 4,35 <sup>a</sup>	4,22 ± 2,17 <sup>a</sup>
	L + M	13,20 ± 6,48 <sup>b</sup>	6,35 ± 3,33 <sup>b</sup>	3,18 ± 1,67 <sup>b</sup>
	L + M + N	16,97 ± 7,48 <sup>a</sup>	8,15 ± 3,64 <sup>a</sup>	4,08 ± 1,82 <sup>a</sup>
Średnio z doświadczenia		15,13 ± 8,37	7,27 ± 3,98	3,63 ± 1,99

(±) – odchylenie standardowe; a, b, c. – grupy jednorodnie

Źródło: Stolarski i in. 2013a

a)



b)



Fot. 1. Wierzba – rośliny na dwuletniej karpie: (a) w okresie wegetacji, (b) po zakończeniu wegetacji  
Fot. Mariusz Stolarski

a)



b)



Fot. 2. Topola – rośliny na dwuletniej karpie: (a) w okresie wegetacji (b) po zakończeniu wegetacji  
Fot. Mariusz Stolarski

a)



b)



Fot. 3. Robinia akacjowa – rośliny na dwuletniej karpie: (a) w okresie wegetacji (b) po zakończeniu wegetacji

Fot. Mariusz Stolarski

### 3.4. Właściwości termofizyczne biomasy

Właściwości termofizyczne biomasy były generalnie istotnie zróżnicowane w obrębie badanych czynników głównych oraz interakcji pomiędzy nimi (tab. 9). Spośród badanych gatunków istotnie najwyższą wilgotnością charakteryzowała się biomasa topoli (53,64%). Wilgotność biomasy wierzby i robinii była istotnie niższa, odpowiednio o 2,54 i 6,42 punktu procentowego. Nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu wzbogacenia gleby na wilgotność biomasy. Topola charakteryzowała się istotnie najwyższą, a robinia najniższą wilgotnością w każdej kombinacji sposobu wzbogacenia gleby.

Najniższą zawartość popiołu oznaczono w biomacie wierzby – 1,41% s.m., a u robinii i topoli była ona istotnie wyższa, odpowiednio prawie o 43 i 48%. Spośród sposobów wzbogacenia gleby najwyższą zawartość popiołu oznaczono w materiale, w którym stosowano nawożenie, a najniższą w biomacie z poletek kontrolnych. Biomasa topoli charakteryzowała się najwyższą wartością ciepła spalania, jednakże po uwzględnieniu wilgotności istotnie najwyższą wartość opałową posiadała robinia (9,17 MJ kg<sup>-1</sup>). Wartość tej cechy dla wierzby była o 8%, a dla topoli o 13% niższa. Nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu wzbogacenia gleby na wartość opałową biomasy. Zawartość części lotnych w biomacie robinii i topoli była na jednakowym poziomie – średnio 77,09% s.m., a u wierzby była wyższa. Natomiast zawartość części stałych u badanych gatunków zawierała się w przedziale od 19,53% s.m. do 21,08% s.m.

### 3.5. Właściwości chemiczne biomasy

Skład elementarny biomasy robinii, topoli i wierzby po drugim roku wegetacji był istotnie zróżnicowany w obrębie badanych czynników głównych oraz interakcji pomiędzy nimi (tab. 10). Biomasa topoli charakteryzowała się średnio najwyższą zawartością węgla (52,65% s.m.) i wodoru (6,19% s.m.) oraz najniższą zawartością siarki (0,032% s.m.) i chloru (0,005% s.m.). Zawartość siarki w biomacie wierzby była na identycznym poziomie, a chloru było nieznacznie więcej w porównaniu do topoli. Zawartość wodoru w biomacie robinii akacjowej określono na tym samym poziomie jak u topoli. Natomiast robinia charakteryzowała się najniższą zawartością węgla oraz najwyższą zawartością siarki, chloru i azotu. Zawartość tego ostatniego pierwiastka w biomacie robinii była 2,3-krotnie i 2,7-krotnie wyższa niż w biomacie topoli i wierzby. Zastosowane nawożenie mineralne wpłynęło na istotne zwiększenie zawartości siarki, azotu i chloru w biomacie robinii w porównaniu do dwóch pozostałych badanych gatunków i w porównaniu do sposobu wzbogacania gleby.

Tabela 9

Właściwości termofizyczne biomasy robinii, topoli i wierzby

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	Wilgotność (%)	Zawartość popiołu (% s.m.)	Ciepło spalania (MJ kg <sup>-1</sup> s.m.)	Wartość opałowa (MJ kg <sup>-1</sup> )	Części lotne (% s.m.)	Części stałe (% s.m.)
Robinia	K	47,77 ± 10,28 <sup>d</sup>	1,68 ± 10,04 <sup>d</sup>	19,40 ± 10,03 <sup>c</sup>	8,97 ± 10,08 <sup>ab</sup>	77,65 ± 10,00 <sup>f</sup>	20,45 ± 10,03 <sup>bc</sup>
	L	46,38 ± 10,08 <sup>e</sup>	2,16 ± 10,01 <sup>b</sup>	19,53 ± 10,04 <sup>d</sup>	9,34 ± 10,04 <sup>a</sup>	77,24 ± 10,05 <sup>cd</sup>	20,07 ± 10,05 <sup>cd</sup>
	N	48,08 ± 10,02 <sup>d</sup>	2,67 ± 10,15 <sup>e</sup>	19,85 ± 10,00 <sup>bc</sup>	9,14 ± 10,00 <sup>e</sup>	76,01 ± 10,05 <sup>e</sup>	21,08 ± 10,07 <sup>a</sup>
	M	46,65 ± 10,41 <sup>e</sup>	1,82 ± 10,01 <sup>d</sup>	19,42 ± 10,03 <sup>c</sup>	9,22 ± 10,11 <sup>e</sup>	77,47 ± 10,03 <sup>f</sup>	20,27 ± 10,03 <sup>c</sup>
Średnio		47,22 ± 10,61 <sup>c</sup>	2,08 ± 10,31 <sup>e</sup>	19,55 ± 10,15 <sup>c</sup>	9,17 ± 10,12 <sup>e</sup>	77,09 ± 10,52 <sup>b</sup>	20,47 ± 10,31 <sup>e</sup>
Topola	K	53,33 ± 10,37 <sup>a</sup>	1,88 ± 10,07 <sup>cd</sup>	19,93 ± 10,01 <sup>b</sup>	8,00 ± 10,08 <sup>cd</sup>	77,14 ± 10,01 <sup>cd</sup>	20,69 ± 10,07 <sup>b</sup>
	L	53,64 ± 10,51 <sup>a</sup>	1,96 ± 10,04 <sup>c</sup>	19,88 ± 10,01 <sup>b</sup>	7,91 ± 10,12 <sup>d</sup>	77,16 ± 10,04 <sup>cd</sup>	20,56 ± 10,08 <sup>bc</sup>
	N	54,48 ± 11,27 <sup>a</sup>	2,22 ± 10,02 <sup>b</sup>	20,05 ± 10,03 <sup>e</sup>	7,80 ± 10,30 <sup>d</sup>	76,86 ± 10,05 <sup>d</sup>	20,63 ± 10,07 <sup>bc</sup>
	M	53,09 ± 10,24 <sup>a</sup>	2,00 ± 10,01 <sup>c</sup>	20,06 ± 10,00 <sup>e</sup>	8,11 ± 10,05 <sup>cd</sup>	77,17 ± 10,03 <sup>cd</sup>	20,47 ± 10,02 <sup>bc</sup>
Średnio		53,64 ± 10,66 <sup>a</sup>	2,01 ± 10,10 <sup>b</sup>	19,98 ± 10,06 <sup>e</sup>	7,95 ± 10,15 <sup>e</sup>	77,09 ± 10,11 <sup>b</sup>	20,59 ± 10,08 <sup>e</sup>
Wierzba	K	50,17 ± 11,32 <sup>e</sup>	1,29 ± 10,04 <sup>f</sup>	19,89 ± 10,05 <sup>b</sup>	8,69 ± 10,27 <sup>b</sup>	78,93 ± 10,02 <sup>a</sup>	19,53 ± 10,06 <sup>f</sup>
	L	51,67 ± 10,65 <sup>b</sup>	1,52 ± 10,03 <sup>e</sup>	19,82 ± 10,02 <sup>c</sup>	8,32 ± 10,16 <sup>c</sup>	77,28 ± 10,46 <sup>cd</sup>	20,70 ± 10,42 <sup>b</sup>
	N	50,57 ± 10,01 <sup>c</sup>	1,33 ± 10,09 <sup>f</sup>	19,58 ± 10,03 <sup>d</sup>	8,45 ± 10,01 <sup>bc</sup>	78,35 ± 10,31 <sup>b</sup>	20,02 ± 10,22 <sup>cd</sup>
	M	51,96 ± 10,39 <sup>b</sup>	1,49 ± 10,05 <sup>e</sup>	19,92 ± 10,05 <sup>b</sup>	8,30 ± 10,11 <sup>c</sup>	78,05 ± 10,16 <sup>b</sup>	20,16 ± 10,11 <sup>cd</sup>
Średnio		51,09 ± 10,77 <sup>b</sup>	1,41 ± 10,09 <sup>e</sup>	19,80 ± 10,11 <sup>b</sup>	8,44 ± 10,16 <sup>b</sup>	78,15 ± 10,52 <sup>a</sup>	20,10 ± 10,38 <sup>b</sup>
Średnio	K	50,43 ± 12,51	1,61 ± 10,26 <sup>f</sup>	19,74 ± 10,26 <sup>c</sup>	8,55 ± 10,45	77,91 ± 10,80 <sup>a</sup>	20,22 ± 10,53 <sup>b</sup>
	L	50,56 ± 13,28	1,88 ± 10,29 <sup>f</sup>	19,74 ± 10,16 <sup>c</sup>	8,52 ± 10,65	77,23 ± 10,24 <sup>c</sup>	20,44 ± 10,36 <sup>c</sup>
	N	51,04 ± 12,87	2,08 ± 10,59 <sup>e</sup>	19,83 ± 10,21 <sup>c</sup>	8,46 ± 10,60	77,08 ± 11,04 <sup>c</sup>	20,58 ± 10,48 <sup>c</sup>
	M	50,57 ± 12,99	1,77 ± 10,22 <sup>e</sup>	19,80 ± 10,23 <sup>b</sup>	8,55 ± 10,52	77,57 ± 10,40 <sup>b</sup>	20,30 ± 10,15 <sup>b</sup>
Średnio z doświadczenia		50,65 ± 12,81	1,83 ± 10,39	19,78 ± 10,23	8,52 ± 10,54	77,44 ± 10,74	20,39 ± 10,41

(±) – odchylenie standardowe; a, b, c... – grupy jednorodnie

Źródło: Stolarski i in. 2013b

Tabela 10

Skład elementarny biomasy robinii, topoli i wierzby i (% s.m.)

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	C	H	S	N	Cl
Robinia	K	51,66±0,13 <sup>c</sup>	6,28±0,02 <sup>a</sup>	0,059±0,00 <sup>b</sup>	1,16±0,01 <sup>c</sup>	0,019±0,001 <sup>b</sup>
	L	49,80±0,00 <sup>e</sup>	6,14±0,03 <sup>b</sup>	0,058±0,002 <sup>b</sup>	1,21±0,01 <sup>b</sup>	0,016±0,001 <sup>d</sup>
	N	50,76±0,14 <sup>d</sup>	6,13±0,03 <sup>b</sup>	0,073±0,002 <sup>a</sup>	1,70±0,05 <sup>a</sup>	0,024±0,001 <sup>a</sup>
	M	51,03±0,27 <sup>d</sup>	6,24±0,00 <sup>b</sup>	0,057±0,001 <sup>b</sup>	1,14±0,00 <sup>c</sup>	0,017±0,001 <sup>c</sup>
Średnio		50,81±0,55 <sup>e</sup>	6,20±0,05 <sup>a</sup>	0,061±0,005 <sup>a</sup>	1,30±0,18 <sup>a</sup>	0,019±0,003 <sup>a</sup>
Topola	K	53,14±0,09 <sup>a</sup>	6,30±0,09 <sup>a</sup>	0,028±0,001 <sup>c</sup>	0,55±0,01 <sup>c</sup>	0,005±0,001 <sup>f</sup>
	L	52,52±0,07 <sup>b</sup>	6,15±0,06 <sup>b</sup>	0,032±0,001 <sup>b</sup>	0,57±0,00 <sup>e</sup>	0,003±0,000 <sup>g</sup>
	N	52,56±0,31 <sup>b</sup>	6,15±0,01 <sup>b</sup>	0,035±0,001 <sup>ab</sup>	0,65±0,01 <sup>d</sup>	0,005±0,001 <sup>f</sup>
	M	52,39±0,07 <sup>b</sup>	6,17±0,01 <sup>a</sup>	0,032±0,002 <sup>b</sup>	0,51±0,01 <sup>f</sup>	0,008±0,001 <sup>e</sup>
Średnio		52,65±0,26 <sup>a</sup>	6,19±0,06 <sup>a</sup>	0,032±0,002 <sup>b</sup>	0,57±0,04 <sup>b</sup>	0,005±0,001 <sup>c</sup>
Wierzba	K	50,73±0,19 <sup>d</sup>	6,02±0,10 <sup>c</sup>	0,03±10,004 <sup>bc</sup>	0,45±0,02 <sup>g</sup>	0,008±0,001 <sup>e</sup>
	L	50,77±0,06 <sup>d</sup>	6,15±0,01 <sup>b</sup>	0,029±0,001 <sup>c</sup>	0,56±0,01 <sup>e</sup>	0,004±0,001 <sup>g</sup>
	N	51,58±0,22 <sup>c</sup>	6,17±0,04 <sup>b</sup>	0,037±0,003 <sup>ab</sup>	0,42±0,00 <sup>g</sup>	0,008±0,001 <sup>e</sup>
	M	51,04±0,14 <sup>d</sup>	6,08±0,02 <sup>bc</sup>	0,034±0,001 <sup>b</sup>	0,48±0,01 <sup>f</sup>	0,005±0,001 <sup>f</sup>
Średnio		51,03±0,29 <sup>b</sup>	6,11±0,06 <sup>b</sup>	0,032±0,003 <sup>b</sup>	0,48±0,04 <sup>c</sup>	0,006±0,001 <sup>b</sup>
Średnio	K	51,85±1,06 <sup>a</sup>	6,20±0,15	0,039±0,015 <sup>b</sup>	0,72±0,34 <sup>c</sup>	0,010±0,006 <sup>b</sup>
	L	51,03±1,20 <sup>c</sup>	6,15±0,04	0,039±0,014 <sup>b</sup>	0,78±0,32 <sup>b</sup>	0,007±0,006 <sup>c</sup>
	N	51,63±0,81 <sup>b</sup>	6,15±0,03	0,048±0,018 <sup>a</sup>	0,92±0,59 <sup>a</sup>	0,012±0,009 <sup>a</sup>
	M	51,49±0,70 <sup>b</sup>	6,16±0,07	0,041±0,012 <sup>b</sup>	0,7110,32 <sup>c</sup>	0,010±0,006 <sup>b</sup>
Średnio z doświadczenia		51,50±0,97	6,17±0,09	0,042±0,015	0,78±0,40	0,010±0,007

(±) – odchylenie standardowe; a, b, c... grupy jednorodne

Źródło: Stolarski i in. 2013b

Skład chemiczny dendromasy był generalnie istotnie zróżnicowany w obrębie badanych czynników głównych oraz interakcji pomiędzy nimi (tab. 11 – 12). Zawartość substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie oraz w rozpuszczalnikach organicznych przedstawiono w tabeli 11.

Zastosowanie ligniny jako sposobu nawożenia w przypadku robinii spowodowało wzrost liczby związków rozpuszczalnych zarówno w zimnej, jak i w gorącej wodzie oraz w etanolu w porównaniu do próby kontrolnej. Ilość substancji rozpuszczalnych w zimnej wodzie wzrosła o 0,5%, ale rozpuszczalnych w gorącej wodzie o ponad 3%. W drewnie robinii rosnącej w obiekcie, w którym zastosowano ligninę, ilość substancji ekstrahowanych etanolem w porównaniu do próby kontrolnej również wzrosła o około 3%. Zaobserwowano także niewielki wzrost odczynu pH do poziomu 6,19. W przypadku drewna topoli w porównaniu do próby kontrolnej odnotowano wzrost substancji rozpuszczalnych w gorącej wodzie o ponad 4,5% i rozpuszczalnych w zimnej wodzie o ponad 1% przy zastosowaniu mikoryzy. Te zmienione warunki wzrostu nie



wpłynęły w znaczącym stopniu na zwiększenie ilości związków rozpuszczalnych w etanolu oraz nie zaobserwowano istotnych zmian odczynu pH drewna topoli. Analizując drewno wierzby rosnącej w kombinacji, w której zastosowano ligninę i nawożenie nawozami mineralnymi, w porównaniu do wariantu kontrolnego zaobserwowano zmniejszenie o 1,51 – 1,63% liczby związków rozpuszczalnych w zimnej wodzie. Kombinacje z nawożeniem mineralnym oraz z zastosowaniem ligniny nie wpłynęły w znaczącym stopniu na zmianę ilości substancji rozpuszczalnych w gorącej wodzie w drewnie wierzby w porównaniu do próby kontrolnej. Różnice wynosiły 0,68 – 0,95%. Ta sama zmiana warunków wzrostu wierzby spowodowała zmniejszenie od 1,14% do 1,49% ilości substancji rozpuszczalnych w rozpuszczalnikach organicznych w porównaniu do kontrolnej próby drewna wierzby. Nawożenie spowodowało zauważalne zakwaszenie drewna. Odczyn pH drewna wierzby zmniejszył się o 1,14 w porównaniu do próby kontrolnej i wyniósł 5,58.

Tabela 11  
Zawartość substancji rozpuszczalnych w wodzie, etanolu oraz pH biomasy robinii, topoli i wierzby (% s.m.)

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	Zawartość substancji rozpuszczalnych w zimnej wodzie	Zawartość substancji rozpuszczalnych w cieplej wodzie	Zawartość substancji rozpuszczalnych w etanolu	pH
Robinia	K	13,88 ± 0,20 <sup>b</sup>	14,28 ± 0,15 <sup>b</sup>	9,76 ± 0,43 <sup>c</sup>	5,83 ± 0,02
	L	14,39 ± 0,18 <sup>a</sup>	17,58 ± 0,66 <sup>a</sup>	12,74 ± 0,20 <sup>b</sup>	6,19 ± 0,09
	N	12,92 ± 0,31 <sup>c</sup>	13,05 ± 0,18 <sup>d</sup>	10,37 ± 0,26 <sup>c</sup>	5,86 ± 0,01
	M	12,62 ± 0,19 <sup>d</sup>	14,33 ± 0,44 <sup>b</sup>	10,43 ± 0,42 <sup>c</sup>	6,20 ± 0,03
Średnio		13,46 ± 0,60 <sup>e</sup>	14,81 ± 1,40 <sup>a</sup>	10,82 ± 0,94 <sup>b</sup>	6,02 ± 0,14 <sup>a</sup>
Topola	K	10,85 ± 0,15 <sup>f</sup>	9,06 ± 0,37 <sup>g</sup>	14,03 ± 0,56 <sup>a</sup>	5,40 ± 0,05
	L	10,81 ± 0,16 <sup>f</sup>	9,16 ± 0,20 <sup>g</sup>	13,06 ± 0,64 <sup>b</sup>	5,36 ± 0,01
	N	9,64 ± 0,24 <sup>g</sup>	9,11 ± 0,34 <sup>g</sup>	14,82 ± 0,03 <sup>a</sup>	5,46 ± 0,05
	M	11,62 ± 0,11 <sup>e</sup>	13,62 ± 0,06 <sup>c</sup>	14,16 ± 0,37 <sup>a</sup>	5,29 ± 0,07
Średnio		10,73 ± 0,59 <sup>b</sup>	10,24 ± 1,58 <sup>b</sup>	14,02 ± 0,60 <sup>a</sup>	5,38 ± 0,06 <sup>b</sup>
Wierzba	K	8,37 ± 0,04 <sup>h</sup>	10,22 ± 0,05 <sup>f</sup>	10,62 ± 0,45 <sup>d</sup>	6,72 ± 1,19
	L	6,86 ± 0,08 <sup>i</sup>	10,90 ± 0,54 <sup>e</sup>	9,13 ± 0,62 <sup>g</sup>	6,31 ± 0,52
	N	6,74 ± 0,08 <sup>i</sup>	11,17 ± 0,15 <sup>e</sup>	9,48 ± 0,26 <sup>f</sup>	5,58 ± 0,01
	M	8,22 ± 0,18 <sup>h</sup>	8,72 ± 0,15 <sup>g</sup>	11,9 ± 0,62 <sup>c</sup>	6,22 ± 0,08
Średnio		7,55 ± 0,60 <sup>c</sup>	10,25 ± 0,80 <sup>b</sup>	10,28 ± 0,96 <sup>c</sup>	6,21 ± 0,52 <sup>a</sup>
Średnio	K	11,03 ± 2,39 <sup>a</sup>	11,19 ± 2,38 <sup>c</sup>	11,47 ± 2,00 <sup>b</sup>	5,98 ± 0,83
	L	10,69 ± 3,26 <sup>b</sup>	12,55 ± 3,87 <sup>a</sup>	11,64 ± 1,95 <sup>b</sup>	5,95 ± 0,52
	N	9,77 ± 2,69 <sup>c</sup>	11,11 ± 1,72 <sup>c</sup>	11,56 ± 2,49 <sup>b</sup>	5,63 ± 0,18
	M	10,82 ± 2,00 <sup>b</sup>	12,22 ± 2,66 <sup>b</sup>	12,16 ± 1,68 <sup>a</sup>	5,90 ± 0,46
Średnio z doświadczenia		10,58 ± 2,56	11,77 ± 2,72	11,71 ± 1,98	5,87 ± 0,54

(±) – odchylenie standardowe, a, b, c. – grupy jednorodne

Źródło: Stolarski i in. 2013b

Analizując zmianę ilości substancji rozpuszczalnych w 1% NaOH w drewnie robinii, można zaobserwować, że znaczny wpływ na zwiększenie ilości tych związków o prawie 5% w stosunku do próby kontrolnej miało zastosowanie ligniny do gleby (tab. 12). Zastosowanie mikoryzy nie wpłynęło na zmianę ilości substancji rozpuszczalnych w rozcieńczonych alkaliach w drewnie robinii, natomiast nawożenie mineralne spowodowało wzrost tych substancji o 2,57% w porównaniu do drewna robinii wzrastającej w niezmienionych warunkach. Na niewielki wzrost o 1,79% zawartości celulozy w drewnie robinii w porównaniu do próby kontrolnej miało wpływ zastosowanie mikoryzy. Zastosowanie ligniny i nawożenia mineralnego nie spowodowało znaczących zmian w zawartości podstawowego składnika drewna w porównaniu do ilości celulozy w drewnie robinii wzrastającej w niezmienionych warunkach. Zastosowanie mikoryzy spowodowało niewielkie różnice (wzrost o 3,58%) w zawartości holocelulozy i ligniny (spadek o 0,6%) oraz pentozanów (wzrost o 0,82%) w porównaniu do zawartości tych komponentów w drewnie próby kontrolnej.

W przypadku drewna topoli zastosowanie zarówno ligniny, jak i mikoryzy oraz nawożenia mineralnego, w porównaniu do drewna próby kontrolnej, nie miało istotnego wpływu na zmianę zawartości substancji rozpuszczalnych w rozcieńczonych alkaliach. Ilość tych związków wahała się od 35,58% do 36,49%. Nie zaobserwowano również znaczących zmian w porównaniu do drewna topoli rosnącej w warunkach niezmienionych w zawartości pozostałych podstawowych komponentów, tj. celulozy, ligniny, holocelulozy i pentozanów. Zawartość celulozy wynosiła od 36,72% do 37,67%, ligniny od 25,10% do 26,66%, holocelulozy od 67,91% do 69,83%, a pentozanów od 20,46% do 20,80%.

Analizując zawartość podstawowych składników w drewnie wierzby wzrastającej w kombinacjach, w których zastosowano ligninę, mikoryzę oraz nawożenie mineralne, w porównaniu do zawartości tych składników w drewnie wierzby wzrastającej w niezmienionych warunkach, można zauważyć bardzo zbliżone ich ilości. Zawartość substancji rozpuszczalnych w 1% NaOH w drewnie wierzby rosnącej w kombinacjach z sposobami wzbogacenia gleby wynosiła od 33,13% do 33,58%. Ilość celulozy wahała się od 40,75% do 41,74%, a holocelulozy od 67,30% do 69,36%. W porównaniu do próby kontrolnej zaobserwowano zmniejszenie zawartości ligniny o 2,59% w drewnie wierzby rosnącej w kombinacji, w której zastosowano ligninę. Zawartość pentozanów w drewnie wierzby wynosiła od 19,76% do 20,51%.

Na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że najlepsze cechy do dalszego wykorzystania surowca na cele przemysłowe posiadała wierzba, która miała najwięcej celulozy (średnio 41,24%), dość dużo pentozanów (20,97%), a mało ligniny (23,76%).

Tabela 12  
Zawartość substancji rozpuszczalnych w alkaliach, celulozy, holocelulozy, ligniny i pentozanów w biomase robinnii, topoli i wierzby (% s.m.)

Gatunek	Sposób wzbogacenia gleby	Substancje rozpuszczalne w alkaliach (1% NaOH)	Celuloza	Holocelulozy	Ligniny	Pentozany
Robinia	K	33,88 ± 0,31 <sup>c</sup>	36,54 ± 0,43 <sup>c</sup>	66,67 ± 1,07 <sup>c</sup>	22,43 ± 0,31 <sup>c</sup>	20,69 ± 0,48
	L	38,75 ± 0,44 <sup>a</sup>	35,91 ± 0,64 <sup>d</sup>	65,86 ± 0,56 <sup>c</sup>	22,07 ± 0,18 <sup>c</sup>	20,60 ± 0,28
	N	36,45 ± 0,10 <sup>b</sup>	36,10 ± 0,23 <sup>c</sup>	67,59 ± 0,24 <sup>b</sup>	24,67 ± 0,19 <sup>c</sup>	21,07 ± 0,22
	M	33,79 ± 0,34 <sup>c</sup>	38,33 ± 0,79 <sup>b</sup>	70,25 ± 0,62 <sup>a</sup>	21,83 ± 0,82 <sup>b</sup>	21,51 ± 0,41
Średnio		35,72 ± 1,66 <sup>a</sup>	36,72 ± 0,88 <sup>b</sup>	67,59 ± 1,40 <sup>b</sup>	22,75 ± 0,97 <sup>c</sup>	20,97 ± 0,40 <sup>a</sup>
Topola	K	36,27 ± 0,43 <sup>b</sup>	36,89 ± 0,72 <sup>bc</sup>	66,96 ± 0,47 <sup>c</sup>	26,45 ± 0,32 <sup>a</sup>	20,53 ± 0,45
	L	35,95 ± 0,16 <sup>b</sup>	37,42 ± 0,29 <sup>bc</sup>	67,91 ± 0,60 <sup>b</sup>	25,10 ± 0,52 <sup>b</sup>	20,61 ± 0,17
	N	36,49 ± 0,46 <sup>b</sup>	36,72 ± 0,84 <sup>c</sup>	68,02 ± 0,74 <sup>b</sup>	26,66 ± 0,12 <sup>a</sup>	20,46 ± 0,23
	M	35,58 ± 1,17 <sup>b</sup>	37,67 ± 0,57 <sup>b</sup>	69,83 ± 0,64 <sup>ab</sup>	25,14 ± 0,21 <sup>b</sup>	20,80 ± 0,10
Średnio		36,08 ± 0,58 <sup>a</sup>	37,17 ± 0,55 <sup>b</sup>	68,18 ± 0,95 <sup>b</sup>	25,84 ± 0,63 <sup>a</sup>	20,60 ± 0,21 <sup>b</sup>
Wierzba	K	33,23 ± 0,63 <sup>f</sup>	41,69 ± 0,93 <sup>a</sup>	71,06 ± 1,16 <sup>a</sup>	24,37 ± 0,58 <sup>b</sup>	20,10 ± 0,33
	L	33,13 ± 0,37 <sup>e</sup>	41,74 ± 0,59 <sup>a</sup>	68,09 ± 0,65 <sup>b</sup>	21,78 ± 0,72 <sup>c</sup>	20,5 ± 10,51
	N	33,58 ± 0,56 <sup>e</sup>	40,77 ± 0,73 <sup>a</sup>	67,30 ± 1,93 <sup>bc</sup>	24,3 ± 10,20 <sup>b</sup>	19,76 ± 0,21
	M	33,29 ± 0,90 <sup>f</sup>	40,75 ± 0,82 <sup>a</sup>	69,36 ± 1,05 <sup>ab</sup>	24,57 ± 0,33 <sup>b</sup>	20,48 ± 0,55
Średnio		33,3 ± 10,46 <sup>b</sup>	41,24 ± 0,66 <sup>a</sup>	68,95 ± 1,42 <sup>a</sup>	23,76 ± 0,98 <sup>b</sup>	20,2 ± 10,40 <sup>c</sup>
Średnio	K	34,46 ± 1,45 <sup>b</sup>	38,38 ± 2,57 <sup>ab</sup>	68,23 ± 2,28 <sup>b</sup>	24,41 ± 1,78 <sup>b</sup>	20,44 ± 0,45 <sup>b</sup>
	L	35,94 ± 2,45 <sup>a</sup>	38,36 ± 2,66 <sup>ab</sup>	67,29 ± 1,19 <sup>b</sup>	22,98 ± 1,65 <sup>d</sup>	20,57 ± 0,31 <sup>b</sup>
	N	35,51 ± 1,49 <sup>a</sup>	37,86 ± 2,27 <sup>b</sup>	67,64 ± 1,09 <sup>b</sup>	25,21 ± 1,11 <sup>a</sup>	20,43 ± 0,60 <sup>b</sup>
	M	34,22 ± 1,29 <sup>b</sup>	38,92 ± 1,54 <sup>a</sup>	69,81 ± 0,79 <sup>a</sup>	23,85 ± 1,60 <sup>c</sup>	20,93 ± 0,57 <sup>a</sup>
Średnio z doświadczenia		35,03 ± 1,81	38,38 ± 2,23	68,24 ± 1,70	24,11 ± 1,70	20,59 ± 0,52

(±) – odchylenie standardowe, a, b, c... – grupy jednorodnie

Źródło: Stolarski i in. 2013b

## 4. Dyskusja

W warunkach Polski spośród upraw roślin wieloletnich prowadzonych w krótkich rotacjach zbioru (*Short Rotation Woody Crops* – SRWC) dominuje uprawa wierzby 6,2 tys. ha, a powierzchnia upraw topoli była szacowana na około 650 ha (Gajewski 2010). Robinia akacyjowa w systemie SRWC była uprawiana tylko w małoobszarowych doświadczeniach. W ostatnim czasie obserwuje się wzrost zainteresowania uprawą topoli w Polsce. Wynika to głównie z zainteresowania się dużych zakładów celulozowych pozyskaniem tego gatunku na cele papiernicze oraz energetyczne.

Kluczową kwestią pozostaje wysokość plonowania poszczególnych gatunków roślin. Wysokość uzyskiwanego plonu zależy od warunków klimatycznych, jakości gleby, gatunku i odmiany, agrotechniki, gęstości sadzenia, a w przypad-

ku wierzby, topoli i robinii akacjowej także od cyklu zbioru roślin. W warunkach Polski najbardziej rozpoznane jest plonowanie wierzby, choć jednocześnie bardzo zróżnicowane ze względu na dużą liczbę stosowanych gatunków i odmian. W doświadczeniach w optymalnych warunkach plony wierzby były kilkukrotnie wyższe niż w prezentowanych badaniach własnych. Natomiast plony na plantacjach produkcyjnych były generalnie znacznie niższe w stosunku do doświadczeń i na lustrowanych przez pracowników UWM dużych (70–300 ha) plantacjach wyniosły średnio od 4 do 10 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (Stolarski 2009; Tworowski in. 2010). Również w Szwecji na plantacjach doświadczalnych uzyskiwano wysokie plony biomasy wierzby, których nie udało się powtórzyć na plantacjach komercyjnych (Melin i Larsson 2005). Zależność tę potwierdzają również dane uzyskane z ponad 1,5 tys. plantacji, gdzie średnie plony biomasy wierzby wynosiły zaledwie 2,67 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, a maksymalnie dochodziły do 20,54 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (Mola-Yudego 2011).

Jest wiele przyczyn uzyskiwania generalnie niższych plonów biomasy na plantacjach komercyjnych w porównaniu do obiektów doświadczalnych. Należy wśród nich wymienić: trudności z właściwym wyborem i przygotowaniem stanowiska glebowego, błędy w zakładaniu plantacji, stosowanie do nasadzeń przypadkowych odmian (klonów), nieskuteczną kontrolę nad chwastami i niewłaściwe gospodarowanie nawozami mineralnymi. Ponadto na plantacjach komercyjnych występują wyższe straty biomasy w czasie zbioru mechanicznego roślin niż w doświadczeniach.

Z kolei plonowanie plantacji topolowych uprawianych na gruntach rolniczych w krótkich rotacjach zbioru w warunkach Polski jest słabo rozpoznane. Podaje się, że na dobrze prowadzonych plantacjach oraz na dobrych jakościowo glebach można uzyskać ponad 8 ton s.m. z 1 ha w przeliczeniu na rok użytkowania plantacji (Zajączkowski i in. 2001). Uzyskane w doświadczeniu własnym plony były niższe. Zdecydowanie wyższe plony z plantacji topoli uzyskuje się we Włoszech (Guidi i in. 2009). Klon z gatunku *Populus deltoides* L. w 2-letniej rotacji plonował na poziomie 11,7 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Ponadto wydłużanie rotacji zbioru do 3- i 4-letniej wpływało na istotny wzrost plonowania topoli. Inni autorzy podają, że 7 klonów topoli z gatunku *Populus × canadensis* i 7 z *Populus deltoides* uprawianych w warunkach Włoch nie plonowało tak wysoko (Bergante i Facciotto 2011). Przy uprawie topoli w zagęszczeniu 10 tys. roślin ha<sup>-1</sup> po 9 latach uprawy i 4 rotacjach zbioru przeżyło średnio 49% roślin. Natomiast średnie plony biomasy klonów z gatunku *Populus deltoides* za okres 9 lat uprawy wynosiły 9,7 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, a dla klonów z gatunku *Populus × canadensis* były niższe i wynosiły 5,6 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. W analizie porównawczej wykazano, że średni plon dla 14 klonów topoli wynosił 8,34 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, a dla 6 klonów wierzby był wyższy i wynosił 12,10 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. W innych doniesieniach literaturowych plonowanie topoli było bardzo

zróznicowane (1,6–28 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>) w zależności od warunków klimatycznych, rodzaju siedliska glebowego, gatunku i klonu, rotacji zbioru, wieku plantacji, poziomu nawożenia oraz innych zabiegów agrotechnicznych (Laureysens i in. 2005; Benetka i in. 2007; Labrecque i Teodorescu 2005; Fortier i in. 2010; Christersson 2010, Pearson i in. 2010).

Robinia akacja (*Robinia pseudoacacia* L.) należy do rodziny *Fabaceae*, a w związku z tym korzenie tego gatunku współżyją z bakteriami *Rhizobium*, które wiążą azot atmosferyczny. Dlatego też gatunek ten ma duże znaczenie w rekultywacji i ochronie gleb najsłabszych, hałd, erodowanych zboczy oraz potencjalnie jako gatunek na plantacje polowe w celu produkcji biomasy na ubogich glebach. Przykładowo w centralnych Węgrzech na słabych glebach piaszczystych założono plantacje rodzimej robinii akacjowej i różnych nowych odmian w celu produkcji biomasy na cele energetyczne (Rédei i in. 2009). Rośliny robinii były pozyskiwane w dłuższej, 5-letniej rotacji niż w badaniach własnych, w związku z tym były one wyższe (4,1–4,5 m), a średnica pędu w pierśnicy wynosiła 2,8–3,5 cm. Przy zagęszczeniu ok. 22 tys. roślin ha<sup>-1</sup> roczny przyrost suchej masy wynosił 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Natomiast w dwóch niższych zagęszczeniach (ok. 13 i 6,6 tys. roślin ha<sup>-1</sup>) uzyskano plony niższe o 33% i 51%. Wykazano, że w najniższym zagęszczeniu w 5-letniej rotacji największy plon dała odmiana Üllői (8,0 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>), a następnie Jászakiséri (7,4 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>) oraz rodzima robinia akacja (6,7 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>). Natomiast w 7-letniej rotacji zbioru uzyskiwano wyższe roczne plony niż w 5-letniej – średnio o 1 Mg ha<sup>-1</sup>. Z kolei Gruenewald i in. (2007) prowadzili w Niemczech badania z robinią wysadzoną na słabych stanowiskach po działalności kopalni odkrywkowej węgla brunatnego w zagęszczeniu około 12,1–14,8 tys. roślin ha<sup>-1</sup> i pozyskiwaną w 3- i 6-letnich rotacjach. Plon robinii w 3-letniej rotacji wynosił średnio około 4 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, a w rotacji 6-letniej było to 6 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Porównując uzyskane wyniki własne, cytowani autorzy konkludują, że należy je uznać za zbieżne z innymi danymi literaturowymi, gdzie plony zawierały się w przedziale od 3,3 do 8 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (Dickmann i in. 1985; Grassi i Bridgwater 1991; Bongarten i in. 1992). Podkreśla się również, że pomimo niskiej jakości ziemi i niekorzystnych warunków klimatycznych robinia plonowała wysoko. Ponadto uzyskane wyniki wyraźnie wskazują, że robinia jest dobrze dostosowana do ubogich w składniki odżywcze stanowisk piaszczystych. Z kolei Geyer (2006) podaje, że przy bardzo dużej gęstości sadzenia robinii (111 tys. szt. ha<sup>-1</sup>) i corocznym zbiorze w pierwszej rotacji uzyskano plon na poziomie 6,5 Mg s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. W kolejnych dwóch latach plon zwiększył się o 80%, a w szóstym roku był zbliżony do pierwszego. Niestety, przy tak dużym wyjściowym zagęszczeniu roślin do szóstego roku uprawy przetrwało tylko 17% roślin.

W badaniach własnych spośród badanych gatunków biomasa robinii akacjowej okazała się najbardziej wartościowym paliwem stałym pod kątem najniższej wilgotności i najwyższej wartości opałowej. Również w innych badaniach wykazano, że wilgotność biomasy robinii w okresie zbioru może być niższa niż innych gatunków roślin drzewiastych i może wynosić około 40% (Gasol i in. 2010). Wilgotność biomasy wierzby oscyluje w granicach 50% (Tharakan i in. 2003; Keoleian i Volk 2005; Stolarski 2009). Z kolei największym problemem jakości biomasy topoli pozyskiwanej w krótkich rotacjach jest jej wysoka wilgotność w czasie zbioru, która może dochodzić nawet do 60% (Kauter i in. 2003; Tharakan i in. 2003). Natomiast średnia zawartość popiołu w biomacie topoli w cytowanych badaniach została oszacowana na poziomie 1,85–2,13% s.m. Ilości te były zbliżone do wyników własnych. Należy oczekiwać poprawy jakości paliwa topoli wraz z wydłużaniem rotacji, ponieważ jej jakość może być zróżnicowana, m.in. ze względu na różną zawartość kory w biomacie w zależności od wieku roślin i średnicy ich pędów. Większa zawartość kory przekłada się bezpośrednio na wzrost zawartości popiołu i pierwiastków niepożądanych w paliwie (Klasnaja i in. 2002; Guidi i in. 2008). Podobne zależności zawartości popiołu od ilości kory w pędach o różnej średnicy i wieku występują u wierzby (Stolarski 2009). Proporcje w zawartości kory i drewna w biomacie wierzby i topoli bezpośrednio wpływają na jakość paliwa. Adler i in. (2005) podają, że kora ma znacznie wyższą zawartość N, P, K, Mg, Ca, Cd, Pb, Co i Zn niż drewno. Wpływa to na proces spalania i może przyspieszać korozję kotłów. Zawartość popiołu w biomacie wierzbowej jest bezpośrednio zależna od zawartości w niej pierwiastków alkalicznych. Im niższa jest ich zawartość w paliwie, tym mniej popiołu powstaje podczas jej spalania (Tharakan i in. 2003). W badaniach własnych biomasa robinii posiadała najwyższą wartość opałową, jednakże zawierała zdecydowanie więcej siarki, azotu i chloru w porównaniu do wierzby i topoli. Również w innych badaniach biomasa topoli i wierzby charakteryzowała się niskimi zawartościami azotu i siarki czy chloru (Gasol i in. 2009; Tharakan i in. 2003; Stolarski 2009).

Skład chemiczny drewna zależy nie tylko od gatunku drzewa, lecz także od wielu innych czynników: wieku, części drzewa, pory ścinki oraz od warunków wzrostu drzewa (Prosiński 1984; Baeza i Freer 2000; Rowell i in. 1997; Waliszewska i Prądyński, 2002). Zawartość celulozy w pętkach wierzby 1-, 2- i 3-letniej wzrasta wraz z ich wiekiem (Prosiński 1984; Stolarski i in. 2011). W niniejszej pracy badano drewno robinii, topoli i wierzby po drugim roku wegetacji. Najwyższą zawartością podstawowego składnika charakteryzowało się drewno wierzby zawierające od 40,75% do 41,75% celulozy (średnio 41,24%). Drewno 2-letniej topoli i 2-letniej robinii zawierało średnio około 37% celulozy. Drewno wierzbowe ze względu na swoje właściwości, dość wysoką zawartość celulozy może być stosowane jako substytut do produkcji płyt

wiórowych, pilśniowych, papieru, tektury (McAdam 1987; Surmiński 1990; Warboys i Houghton 1993). Badane w niniejszej pracy 2-letnie drewno robinii, topoli i wierzby pod względem zawartości celulozy, holocelulozy i ligniny może być wykorzystane jako substytut do produkcji tektury lub płyt wiórowych.

Przy uprawie dendromasy do produkcji celulozy oraz etanolu bardzo ważny jest skład chemiczny pozyskanego surowca. Generalnie drewno młodociane zarówno gatunków iglastych, jak i liściastych zawiera mniej celulozy i ligniny niż drewno dojrzałe (Rowell i in. 1997; Wróblewska i in. 2009; Komorowicz i in. 2009). Zależność tę potwierdzają badania Guidi i in. (2009). Cytowani autorzy podają, że drewno topoli pozyskiwane w rotacji 2-letniej zawierało mniej celulozy (42,5%) i więcej ligniny (22%) niż drewno z rotacji 4-letniej (odpowiednio 51,6% i 19%). Natomiast Gonzhlez-García i in. (2010) podają, że przy 5-letniej rotacji zbioru topoli zawartość celulozy wynosiła 43,2% s.m., hemiceluloz 26,6% s.m., a ligniny 21,3% s.m. Również w pędach bambusa wraz z rozwojem roślin obserwowano spadek zawartości substancji ekstrakcyjnych, rozpuszczalnych w wodzie i w alkaliach, a wzrost zawartości celulozy, ligniny i pentozanów (Rowell i in. 1997).

Wzbogacenie gleby w badaniach własnych przez dodatek ligniny, nawożenie mineralne oraz zastosowanie mikoryzy nie spowodowało znaczących zmian w zawartości podstawowych składników w dendromasie badanych gatunków, stąd zawartość poszczególnych komponentów pozwala sądzić o dość dobrej jakości materiału lignocelulozowego z przeznaczeniem na cele energetyczne. Według Waliszewskiej (2002) odmienne warunki wzrastania wierzb krzewiastych, szczególnie zanieczyszczenie środowiska, mają wpływ na zawartość węglowodanów. Pentozały wraz z heksozanami poddane hydrolizie przekształcają się w cukry proste. W wyniku reakcji powstają roztwory wodne zawierające 2–4% cukrów prostych, które są cennym surowcem do produkcji etanolu i drożdży (Kin 1980). W niniejszych badaniach zmienione warunki wzrostu poprzez dodatek ligniny, nawozów lub mikoryzy do gleby nie wpłynęły w znaczący sposób na zawartość pentozanów w 2-letnim drewnie robinii, topoli i wierzby. Dość wysoka zawartość pentozanów oraz substancji rozpuszczalnych w 1% NaOH w młodym drewnie wskazuje na obecność nisko spolimeryzowanych węglowodanów, a tym samym na możliwość wykorzystania tego materiału do produkcji bioetanolu. Drewno wszystkich trzech badanych gatunków zawierało duże ilości (średnio od 9,77% do 11,03%) substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej (średnio od 11,11% do 12,55%) wodzie. Oznaczono również znaczne ilości substancji ekstrahowanych 96% etanolem – średnio w ilości od 11,47% do 12,16%. Świadczy to o słabo z lignifikowanych tkankach młodego materiału roślinnego, co z kolei sugeruje lepsze możliwości wykorzystania go do produkcji biopaliwa.

## 5. Podsumowanie

Prezentowane badania to jedna z pierwszych prób oceny plonowania trzech gatunków SRWC pozyskiwanych w 2-letniej rotacji w warunkach północno-wschodniej Polskiej na glebie mało przydatnej pod uprawy konsumpcyjne lub paszowe. Po dwóch okresach wegetacji istotnie najwyższe rośliny wykształciła wierzba. Rośliny topoli osiągnęły zbliżoną wysokość, a średnica ich pędów była istotnie najwyższa. Wykazano istotne zróżnicowanie w zakresie plonowania badanych gatunków roślin. W 2-letniej rotacji zbioru topola i wierzba plonowały zdecydowanie wyżej niż robinia akacja, pomimo że rośliny uprawiano na mało zasobnej glebie. Zastosowane sposoby wzbogacania gleby istotnie zwiększały wysokość plonowania gatunków. Z badań wynika ponadto, że plantacje robinii akacjowej powinny być ogradzane w celu ograniczenia zgryzania roślin przez dziką zwierzynę. Natomiast rośliny topoli i wierzby nie były uszkodzane przez zwierzęta.

Biomasa robinii charakteryzowała się najniższą wilgotnością oraz najwyższą wartością opałową i zawartością popiołu, zaś topola najwyższą zawartością węgla i wodoru oraz najwyższym ciepłem spalania, choć ze względu na najwyższą wilgotność posiadała najniższą wartość opałową. Najwyższą zawartością celulozy oraz holocelulozy charakteryzowała się biomasa wierzby. Zastosowanie sposobów wzbogacania zasobności gleby, na którym wzrasta dendromasa, może mieć wpływ na zawartość podstawowych składników biomasy i jej właściwości. W niniejszej pracy największe korzystne zmiany w zawartości celulozy, ligniny i holocelulozy w drewnie robinii odnotowano po zastosowaniu mikoryzy. W przypadku drewna wierzbowego jedynie zastosowanie ligniny do gleby obniżyło w niewielkim stopniu (o około 2,6%) zawartość ligniny w pozyskanej dendromasie. Ze względu na znaczną zawartość celulozy, pentozanów i substancji rozpuszczalnych w 1% NaOH badany surowiec może być wykorzystany do produkcji biopaliwa.

Należy zaznaczyć, że uzyskane wyniki powinny być odnoszone do zbliżonych warunków klimatyczno-glebowych oraz agrotechnicznych, w których przeprowadzono eksperyment. Tym niemniej uzyskane wyniki przedstawiają możliwości zwiększenia plonowania SRWC na glebach ubogich, mało przydatnych pod uprawy konsumpcyjne i paszowe. Ponadto wskazują na konieczność kontynuowania badań z SRWC w kierunku doboru gatunków, odmian czy klonów do warunków glebowych i stosowania odpowiedniej agrotechniki, ponieważ wpływa to istotnie na wysokość plonowania oraz skład dendromasy. Uzyskane wyniki należy zweryfikować w kolejnych cyklach zbioru o różnej ich długości trwania. Jest to bardzo istotne, ponieważ w dalszej kolejności będzie to bezpośrednio wpływać na efektywność energetyczno-ekonomiczną oraz środowiskową produkcji i wykorzystania w energetyce czy przemyśle dendromasy.



## Piśmiennictwo

- Adler A., Verwijst T., Aronsson P. 2005. *Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand*. Biomass and Bioenergy, 29(2): 102–113.
- Baeza J., Freer J. 2000. *Chemical characterization of wood and its components*. In: *Wood and cellulosic chemistry*. Hon D. N.-S., Shiraishi N. (eds.). New York: 275.
- Benetka V., Vrátný F., Šálková I. 2007. *Comparison of the productivity of Populus nigra L. with an interspecific hybrid in a short rotation coppice in marginal areas*. Biomass and Bioenergy, 31: 367–374.
- Bergante S., Facciotto G. 2011. *Nine years measurements in Italian SRC trial in 14 poplar and 6 willow clones*. 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany 6–10 June 2011, proceedings.
- Binkley D., Senock R., Bird S., Cole T. G. 2003. *Twenty years of stand development in pure and mixed stands of Eucalyptus saligna and nitrogen – fixing Facaltaria moluccana*. Forest Ecology and Management, 182: 93–102.
- Bongarten B.C., Huber D.A., Apsley D.K. 1992. *Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of black locust (Robinia pseudoacacia L.) in the Georgia Piedmont*. Forest Ecol. Manage., 5: 315–331.
- Christersson L. 2010. *Wood production potential in poplar plantations in Sweden*. Biomass and Bioenergy, 34: 1289–1299.
- Dickmann D.I., Steinbeck K., Skinner T. 1985. *Leaf area and biomass in mixed and pure plantations of sycamore and black locust in the Georgia Piedmont*. Forest Sci., 31: 509–517.
- Eurostat. 2011. *Energy, transport and environment indicators*. Pocketbooks: 218.
- Fortier J., Gagnon D., Truax B., Lambert F. 2010. *Biomass and volume yield after 6 years in multiclonal hybrid poplar riparian buffer strips*. Biomass and Bioenergy, 34: 1028–1040.
- Gajewski R. 2010. *Potencjał rynkowy produkcji BIOB z przeznaczeniem na cele energetyczne*. W: *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.). Instytut Energetyki. Warszawa: 414–418.
- Gasol C.M., Brun F., Mosso A., Rieradevall J., Gabarrell X. 2010. *Economic assessment and comparison of acacia energy crop with annual traditional crops in Southern Europe*. Energy Policy, 38: 592–597.
- Gasol C.M., Gabarrell X., Anton A., Rigola M., Carrasco J., Ciria P., Rieradevall J. 2009. *LCA of poplar bioenergy system compared with Brassica carinata energy crop and natural gas in regional scenario*. Biomass and Bioenergy, 33(1): 119–129.
- Geyer W.A. 2006. *Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes*. Biomass and Bioenergy, 30: 778–783.
- González-García S., Gasol C.M., Gabarrell X., Rieradevall J., Teresa Moreira M., Feijoo G. 2010. *Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe*. Renewable Energy, 35: 1014–1023.
- Grassi G., Bridgwater A.V. 1991. *The European community energy from biomass research and development program*. Int. J. Solar Energy, 10: 127–136.
- Gross R., Leach M., Bauen A. 2003. *Progress in renewable energy*. Environ. Int., 29: 105–122.
- Gruenewald H., Brandt B.K.V., Schneider B.U., Bens O., Kendzia G., Huttel R.F. 2007. *Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes*. Ecological Engineering, 29: 319–328.
- Guidi W., Tozzini C., Bonari E. 2009. *Estimation of chemical traits in poplar short-rotation coppice at stand level*. Biomass and Bioenergy, 33(12): 1703–1709.
- Guidi W., Piccioni E., Ginanni M., Bonari E. 2008. *Bark content estimation in poplar (Populus deltooides L.) short-rotation coppice in Central Italy*. Biomass and Bioenergy, 32(6): 518–524.
- Guo X.-Y., Zhang X.-S. 2010. *Performance of 14 hybrid poplar clones grown in Beijing, China*. Biomass and Bioenergy, 34: 906–911.
- GUS. 2011. *Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 r.* Warszawa 2011.

- Hanoka T., Liu Y., Matsunaga K., Miyazawa T., Hirata S., Sakanishi K. 2010. *Benchscale production of liquid fuel from woody biomass via gasification*. Fuel Processing Technology, 91: 859–865.
- International Energy Agency. 2004. *Energy technologies for a sustainable future – transport*. IEA, Paris.
- Johansson T., Karačić A. 2011. *Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications*. Biomass and Bioenergy, 35: 1925–1934.
- Kauter D., Lewandowski I., Claupein W. 2003. *Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences*. Biomass and Bioenergy, 24: 411–427.
- Keoleian G.A., Volk T.A. 2005. *Renewable energy from willow biomass crops: life cycle energy, environmental and economic performance*. Critical Reviews in Plant Science, 24: 385–406.
- Kin Z. 1980. *Hemicellulose. Chemistry and utilization*. PWRiL, Warszawa: 149–156.
- Klasnaja B., Kopitovic S., Orlovic S. 2002. *Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood*. Biomass and Bioenergy, 23(6): 427–432.
- Komorowicz M., Wróblewska H., Pawłowski J. 2009. *Chemical composition and properties of biomass from selected renewable sources*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 40: 402–410.
- Kopetz H., Jossart J.M., Ragossnig H., Metschina C. 2007. *European Biomass Statistics 2007*. European Biomass Association (AEBIOM), Brussels: 1–73.
- Labrecque M., Teodorescu T.L. 2005. *Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada)*. Biomass and Bioenergy, 29(1): 1–9.
- Laureysens I., Pellis A., Willems J., Ceulemans R. 2005. *Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results*. Biomass and Bioenergy, 29: 10–21.
- McAdam J.H. 1987. *The pulp potential and paper properties of willow with reference to Salix viminalis*. Irish Forest., 44(1): 32–42.
- Melin G., Larsson S. 2005. *Agrobransle AB – world leading company on short rotation coppice willow*. 14th European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris: 36–37.
- Mola-Yudego B. 2011. *Trends and productivity improvements from commercial willow plantations in Sweden during the period 1986-2000*. Biomass and Bioenergy, 35: 446–453.
- Pearson C.H., Halvorson A.D., Moench R.D., Hammon R.W. 2010. *Production of hybrid poplar under short-term, intensive culture in Western Colorado*. Industrial Crops and Products, 31: 492–498.
- Prosiński S. 1984. *Chemia drewna*. PWRiL, Warszawa.
- Przyborowski J.A., Jedryczka M., Ciszewska-Marciniak J., Sulima P., Wojciechowicz K.M., Zenkteler E. 2012. *Evaluation of the yield potential and physicochemical properties of the biomass of Salix viminalis × Populus tremula hybrids*. Ind. Crops Prod., 36: 549–554.
- Redei K., Osvhth-Bujths Z., Veperdi I. 2008. *Black Locust (Robinia pseudoacacia L.) Improvement in Hungary*. Review Acta Silv. Lign. Hung., 4: 127–132.
- Redei K., Veperdi I., Csiha I., Keseru Z., Gyori J. 2010. *Yield of black locust (Robinia pseudoacacia L.) short rotation energy crops in Hungary: Case study in the field trial*. Lesnicky Casopis, 56(4): 327–335.
- Redei K., Veperdi I. 2009. *The role of black locust (Robinia pseudoacacia L.) in establishment of short-rotation energy plantations in Hungary*. International Journal of Horticultural Science, 15(3): 41–44.
- Renewables 2011 global status report. Online: <[www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21\\_GSR2011.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf)>.
- Report 2011. *Second generation biofuel on cusp of breakthrough*: DSM.
- Roca Fernandez-Vizarrá L., Segovia Irujo P. 2011. *RWE's Experience in a 238 ha Paulownia Plantation in Spain*. 19th European Biomass Conference and Exhibition. From research to industry and markets. 6–10 June. Berlin, Germany.
- Rowell R.M., Han J.S., Bisen S.S. 1997. *Changes in fiber properties during the growing season*. In: *Paper and composite from agro-based resources*. Rowell R.M., Young R.A., Rowell J.K. (eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, New York – London – Tokyo: 23–37.

- Rozporządzenie Ministra gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku 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. nr 156, poz. 969).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie 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 dnia 8 marca 2010 r.).
- Sims R. E., Senelwa K., Maiava T., Bullock B. T. 1999. *Eucalyptus species for biomass energy in New Zealand – Part II: Coppice performance*. Biomass and Bioenergy, 17: 333–343.
- Somerville Ch., Youngs H., Taylor C., Davis S.C., Long S.P. 2010. *Feedstocks for lignocellulosic biofuels*. Science, 329: 790–792.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2008. *Produktivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles*. Biomass and Bioenergy, 32: 1227–1234.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Wróblewska H., Krzyżaniak M. 2011. *Short rotation willow coppice biomass as an industrial and energy feedstock*. Industrial Crops and Products, 33: 217–223.
- Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Szczukowski S., Tworkowski J., Bieniek A. 2013a. *Dendromasa derived from agricultural land as energy feedstock*. Pol. J. Environ. Stud., 22(2): 511–520.
- Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Waliszewska B., Szczukowski S., Tworkowski J., Zborowska M. 2013b. *Lignocellulosic biomass derived from agricultural land as industrial and energy feedstock*. Drewno. Pr. Nauk. Donies. Komunik, 56(189): 5–23.
- Stolarski M.J. 2009. *Agrotechnical and economic aspects of biomass production from willow coppice (Salix spp.) as an energy source*. Dissertations and Monographs 148, University of Warmia and Mazury, Olsztyn: 43–111.
- Surmiński J. 1990. *Technical properties and possibilities of willow's wood utilisation*. In: *Willows Salix alba L., Salix fragilis L.* Białobok S. (ed.). PWN, Warszawa – Poznań: 317–328.
- Tharakan P.J., Volk T.A., Abrahamson L.P., White E.H. 2003. *Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age*. Biomass and Bioenergy, 25(6): 571–580.
- Tworkowski J., Kuś J., Szczukowski S., Stolarski M.J. 2010. *Produkccyjność roślin uprawianych na cele energetyczne*. W: *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.). Instytut Energetyki. Warszawa: 34–49.
- Volk T.A., Abrahamson L.P., Nowak C.A., Smart L.B., Tharakan P.J., White E.H. 2006. *The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bio-products, agroforestry and phytoremediation*. Biomass Bioenergy, 30(8-9): 715–727.
- Waliszewska B. 2002. *Impact of growth condition on the carbohydrate content in selected varieties of shrubby willows*. In: *Proceedings of National Symposium, Biological reactions of trees to industrial pollution*. Kórnik, Poland: 715–723.
- Waliszewska B., Prądzyński W. 2002. *Basic chemical analysis and polymerization level of cellulose in the year-old and the multiyear shrubby willows growing by the A-2 motorway*. In: *Proceedings of National Symposium, Biological reactions of trees to industrial pollution*. Kórnik: 725–732.
- Warboys I., Houghton T. 1993. *The potential cellulosic for UK agriculture*. Agric. Eng., 48(2): 54–57.
- Wilkinson J.M., Evans E.J., Bilsborrow P.E., Wright C., Hewison W.O., Pilbeam D.J. 2007. *Yield of willow cultivars at different planting densities in a commercial short rotation coppice in the north of England*. Biomass and Bioenergy, 31(7): 469–474.
- Wróblewska H., Komorowicz M., Pawłowski J., Cichy W. 2009. *Chemical and energetical properties of selected lignocellulosic raw materiale*. Folia Forestalia Polonica Series B, 40: 67–78.
- Zajączkowski K., Kwiecień R., Zajączkowska B., Wojda T., Zawadzki M. 2001. *Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.



## ROZDZIAŁ 3

### Wstępne badania nad różnorodnością biologiczną wewnątrz i wokół plantacji wierzby w Łęzanach i Samławkach

### Preliminary research of biodiversity in and around willow plantations in Łęzany and Samławki

**Stanisław Czachorowski<sup>1</sup>, Judyta Gencza<sup>1</sup>, Paweł Buczyński<sup>2</sup>,  
Joanna Pakulnicka<sup>1</sup>, Natalia Machatek<sup>3</sup>, Łukasz Głowacki<sup>1</sup>,  
Alicja Kurzątkowska<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, UWM w Olsztynie

<sup>2</sup> Katedra Zoologii, UMCS w Lublinie

<sup>3</sup> Katedra Entomologii, Fitopatologii i Diagnostyki Molekularnej, UWM w Olsztynie

Słowa kluczowe: różnorodność biologiczna, owady wodne, plantacje wierzby.

Key words: biodiversity, water insects, willow plantations.

#### Streszczenie

Badania prowadzono w latach 2011–2013 w krajobrazie pojeziernym w uprawach wierzby w Łęzanach i Samławkach (woj. warmińsko-mazurskie). W badaniach uwzględniono ssaki, ptaki, płazy, owady wodne (*Odonata*, *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Hetoptera*, *Diptera*, *Trichoptera*, *Lepidoptera*, *Coleoptera*), owady lądowe oraz grzyby glebowe. Dotychczasowe badania wskazują, że plantacje wierzby mogą być czasowym schronieniem dla kręgowców oraz bazą pokarmową dla owadów oraz ptaków. Nie odnotowano negatywnych skutków dla bioróżnorodności w uprawach oraz ich bliskim sąsiedztwie. Pozytywny wpływ plantacji wierzby w krajobrazie pojeziernym wiąże się ze wzrostem liczby dostępnych siedlisk oraz zwiększeniem mozaikowości krajobrazu. Dla pełnej oceny wpływu plantacji na bioróżnorodność konieczne są badania wieloletnie.

#### S u m m a r y

The research was carried out in 2011–2013 in lakeland landscape within willow plantations in Łęzany and Samławki (Warmian-Masurian Voivodeship). The research covered mammals, birds, amphibians, aquatic insects (*Odonata*, *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Hetoptera*, *Diptera*, *Trichoptera*, *Lepidoptera*, *Coleoptera*), terrestrial insects and soil fungi. Current research indicates that there are no negative effects on biodiversity within the plantations and in their close surroundings. Willow plantations can serve as a temporary shelter for vertebrates and a food supply for birds and insects. Their positive effect on the rural habitats is due to providing more available habitats and more mosaic landscape. To fully evaluate the impact of the plantations long-term research is needed.

## 1. Wstęp

Ekosystemy silnie przekształcone przez człowieka stanowią coraz istotniejszy składnik krajobrazów. Zrozumienie ich funkcjonowania niezbędne jest do prawidłowego gospodarowania zasobami przyrody w ramach rozwoju zrównoważonego. Najbardziej typowymi ekosystemami antropogenicznymi i ważnymi z gospodarczego punktu widzenia są urbicenozy i agrocenozy wraz z całą różnorodnością siedlisk lądowych i wodnych znajdujących się w ich obrębie. Ze względu na zwiększającą się powierzchnię tych ekosystemów rośnie ich rola w zachowaniu i ochronie bioróżnorodności.

Różnorodność biologiczna (bioróżnorodność) to pojęcie szersze niż różnorodność gatunkowa (liczba gatunków) – oznacza zróżnicowanie życia na wszelkich poziomach organizacji: od genetycznego przez gatunkowy po ekosystemowy.

Ekolodzy od dawna zwracali uwagę na heterogenność układów ekologicznych. Spośród dwóch koncepcji opisu heterogenności krajobrazu – strefowo-pasmowo-węzłowej (Chmielewski 1988) oraz modeli wysp siedliskowych (Banaszak 2002; Czachorowski 1993, 1994, 1997; Czachorowski, Szczepańska 1991) – ta druga wydaje się być bardziej przydatna i w ostatnich latach jest coraz intensywniej rozwijana.

Agrocenozy rozpatrywać można jako krajobraz kulturowy z człowiekiem jako czynnikiem kształtującym. Wprowadzanie nowych rodzajów upraw, w tym przypadku wierzby uprawianej do celów energetycznych, powoduje zmiany widoczne w strukturze krajobrazu oraz w postaci zwiększonego dopływu detrytusy do układów glebowych i zbiorników wodnych. W agrocenozach i krajobrazach wiejskich (podobnie jak w urbicenozach) zaznacza się fragmentacja środowiska, charakterystyczna także dla innych ekosystemów i krajobrazów „naturalnych”, co stanowi problem współczesnego środowiska (Pullin 2004). Agrocenozy charakteryzują się znaczną mozaikowością, gdyż fragmenty biologicznie aktywne stanowią swoiste enklawy, niczym archipelag wysp środowiskowych porodzielanych barierami i połączonych korytarzami ekologicznymi (Trojan, Wiśniewska 2001).

Wraz z pojawianiem się upraw wierzby i wzrostem ich powierzchni rodzi się pytanie o wpływ na bioróżnorodność oraz konieczność wypracowania standardów ocen oddziaływania na środowisko. Do tej pory brakuje takich badań. Konieczne są więc badania o charakterze inwentaryzacyjnym i opisowym, jak również koncepcyjnym.

Celem niniejszej pracy było przedstawienie wstępnych badań nad różnorodnością biologiczną wewnątrz i wokół plantacji wierzby energetycznej, głównie w zakresie wodnych bezkręgowców oraz kręgowców. Badania przeprowadzono na polach Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Łężanach w obrębie gruntów miejscowości Łężany i Samławki (woj. warmińsko-mazurskie).

## 2. Materiał i metody

W badaniach prowadzonych w cyklu 3-letnim analizowane były uprawy wierzby zlokalizowane na polach Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Łęczanach (woj. warmińsko-mazurskie) w obrębie gruntów miejscowości Łęczany i Samławki oraz w ich bezpośrednim otoczeniu. Wyróżniające się elementy krajobrazu potraktowano jako wyspy siedliskowe, różniące się stopniem antropopresji oraz warunkami środowiskowymi istotnymi dla organizmów żywych. Badania prowadzono od września 2010 do końca 2013 roku. W niniejszym opracowaniu wykorzystano tylko część zebranych danych.

Do badań bezkręgowców wodnych wyznaczono ponad 20 stanowisk, z uwzględnieniem zbiorników okresowych, zbiorników stałych, jeziora, strumieni stałych i okresowych. Materiał zbierano czerpakiem hydrobiologicznym. Postacie dorosłe owadów oraz owady lądowe odławiano także siatką entomologiczną oraz prowadzono obserwacje przyżyciowe i zbierano dokumentację fotograficzną. W odniesieniu do awifauny prowadzono standardowe obserwacje ornitologiczne przy okazji wizyt terenowych, a intensywniejsze badania wykonano od maja do lipca 2013 roku. Rozpoznawanie gatunków oraz ich statusu lęgowego odbywało się na podstawie zachowań terytorialnych. Przy okazji badań terenowych odnotowywano obecność lub ślady obecności ssaków. W 2013 roku wykonano badania grzybów glebowych. Glebę przeniesiono przy pomocy czerpaka na płytki Petriego, zalano pożywką Martina i wstawiono do termostatu na 7-dniową inkubację w temp. 25°C. Wyrosłe kolonie grzybowe przeszczepiono następnie na skosy agarowe.

## 3. Wyniki

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że uprawy wierzby są okresowo wykorzystywane jako schronienie dla zwierzyny łownej, gdyż każdego roku widoczne były ślady migracji oraz żerowania dzików (*Sus scrofa*), zajęcy (*Lepus europaeus*), sarny (*Capreolus capreolus*) oraz jeleni (*Cervus elaphus*). W plantacji w Łęczanach odnaleziono ślady zjedzonej sarny, co by wskazywało albo na obecność wilków (*Canis lupus*), albo kłusowanie psów ze wsi. Obserwowano także dużą aktywność saren i jeleni, w tym zgryzanie pędów. Ślady żerowania dzików były wyraźnie częstsze w Samławkach (młodsza uprawa) i to przede wszystkim w pierwszym roku po założeniu plantacji. Może wynikać to ze struktury gleby oraz obecności pędraków. W kolejnych latach (2012 i 2013) na plantacji w Samławkach nie stwierdzono intensywnego żerowania dzików. Można więc wnioskować, że rycie i żerowanie dzików wynikało z efektu ugorowania. W pobliżu uprawy przy jeziorze Mutek obserwowano obecność bobrów (*Castor fiber*), nie zanotowano jednak śladów wykorzystywania pokar-

mowego wierzby w uprawach. Chociaż w innych plantacjach wierzby bobry mogą wyrządzać szkody, jeśli nie znajdują innego pokarmu w okolicy swojego bytowania.

Na terenie plantacji wierzby w Łęzanach zaobserwowano pięć gatunków ptaków: cierniówka (*Sylvia communis*), kapturka (*Sylvia atricapilla*), trznadel (*Emberiza citrinella*), piecuszek (*Phylloscopus trochilus*), bogatka (*Parus major*), z których do lęgowych można zaliczyć cztery pierwsze. Bogatka była gatunkiem zalatującym, żerującym w uprawach. W urozmaiconym krajobrazie wokół plantacji (jezioro, ogródki działkowe, las oraz pola uprawne) stwierdzono bogatszą awifaunę – 39 gatunków: bąk (*Botaurus stellaris*), bogatka (*Parus major*), cierniówka (*Sylvia communis*), dzięcioł czarny (*Dryocopus martius*), dzięcioł duży (*Dendrocopos major*), dzięcioł zielonosiwy (*Picus canus*), derkacz (*Crex crex*), dymówka (*Hirundo rustica*), dzwonec (*Carduelis chloris*), grubodziób (*Coccothraustes coccothraustes*), grzywacz (*Columba palumbus*), jerzyk (*Apus apus*), kapturka (*Sylvia atricapilla*), kawka (*Corvus monedula*), kos (*Turdus merula*), kruk (*Corvus corax*), krzyżówka (*Anas platyrhynchos*), kukulka (*Cuculus canorus*), łożówka (*Acrocephalus palustris*), makolągwa (*Carduelis cannabina*), piecuszek (*Phylloscopus trochilus*), pierwiosnek (*Phylloscopus collybita*), pliszka siwa (*Motacilla alba*), pliszka żółta (*Motacilla flava*), puszczyk (*Strix aluco*), rybitwa rzeczna (*Sterna hirundo*), samotnik (*Tringa ochropus*), sieweczka rzeczna (*Charadrius dubius*), skowronek (*Alauda arvensis*), sójka (*Garrulus glandarius*), szczygieł (*Carduelis carduelis*), szpak (*Sturnus vulgaris*), śmieszka (*Chroicocephalus ridibundus*), śpiewak (*Turdus philomelos*), trzciniaak (*Acrocephalus arundinaceus*), trznadel (*Emberiza citrinella*), wilga (*Oriolus oriolus*), zięba (*Fringilla coelebs*), żuraw (*Grus grus*).

W uprawie wierzby na plantacji w Samławkach stwierdzono większą różnorodność awifauny (14 gatunków) niż na plantacji w Łęzanach, zauważalne były także różnice w składzie gatunkowych. Gatunki gniazdujące lub prawdopodobnie gniazdujące na terenie plantacji w Samławkach to: cierniówka (*Sylvia communi*), gajówka (*Sylvia borin*), dziwonka (*Carpodacus erythrinus*), łożówka (*Acrocephalus palustris*), piecuszek (*Phylloscopus trochilus*), pokląskwa (*Saxicola rubetra*), słowik szary (*Luscinia luscinia*), trznadel (*Emberiza citrinella*). Pozostałe gatunki jedynie żerowały na terenie plantacji: brzegówka (*Riparia riparia*), dzięcioł duży, dymówka (*Hirundo rustica*), kwiczoł (*Turdus pilaris*), oknówka (*Delichon urbica*), zięba (*Fringilla coelebs*).

W Samławkach wokół uprawy wierzby również stwierdzono większą różnorodność ptaków niż w uprawach (27 gatunków). Skład gatunkowy był jednak nieco odmienny niż w Łęzanach: bąk (*Botaurus stellaris*), błotniak stawowy (*Circus aeruginosus*), bogatka (*Parus major*), brzegówka (*Riparia riparia*), cierniówka (*Sylvia communis*), czapla biała (*Egretta alba*), czapla siwa (*Ardea cinerea*), dzięcioł duży (*Dendrocopos major*), derkacz (*Crex crex*), dzwonec



(*Carduelis chloris*), gąsiorek (*Lanius collurio*), grzywacz (*Columba palumbus*), kapturka (*Sylvia atricapilla*), kukułka (*Cuculus canorus*), łabędź niemy (*Cygnus olor*), łożówka (*Acrocephalus palustris*), makolągwa (*Carduelis cannabina*), pliszka siwa (*Motacilla alba*), pokląskwa (*Saxicola rubetra*), samotnik (*Tringa ochropus*), skowronek (*Alauda arvensis*), sroka (*Pica pica*), szpak (*Sturnus vulgaris*), trznadel (*Emberiza citrinella*), wrona siwa (*Corvus cornix*), zięba (*Fringilla coelebs*), żuraw (*Grus grus*).

Większość ptaków zaliczonych do kategorii lęgowych w plantacji wierzby to ptaki małe, zakładające swoje gniazda bezpośrednio na ziemi lub w gęstych krzewach. Plantacje wierzby stanowią dla nich dogodny siedlisko do założenia gniazda. W częściach plantacji w początkowej fazie wzrostu (po zimowym wycięciu) dominowały ptaki gniazdujące na ziemi, a w wyższych wierzbach ptaki gnieźdzące się na krzewach. Niektóre gatunki, np. zięba oraz dzięcioł duży, wykazywały zachowania terytorialne, jednak ich gniazda zlokalizowane były w skupiskach drzew w środku plantacji. Gęste nasadzenia wierzby stanowiły doskonałą kryjówkę. Pojedyncze, wystające gałęzie wierzby wykorzystywane były przez ptaki jako punkty obserwacyjne oraz miejsca śpiewu. Wilgotne tereny, na których usytuowane są plantacje, stanowią również teren obfitujący w owady – jedno z głównych źródeł pokarmu ptaków, o czym świadczyły m.in. liczne stada polujących jaskółek na plantacji w Samławkach.

Na terenie plantacji nie zostały stwierdzone gatunki znajdujące się w Załączniku I Dyrektywy Ptasiej, natomiast 8 gatunków z tej listy występowało wokół plantacji: bąk, czapla biała, błotniak stawowy, derkacz, żuraw, dzięcioł czarny, dzięcioł zielonosiwy, dzierzba gąsiorek.

W uprawie w Łężanach odnotowano zachowania godowe żab zielonych w stawku źródłiskowym. Znacznie liczniej żaby zielone występowały w Samławkach, co wynikało z dostępności siedlisk oraz otaczających plantację licznych drobnych zbiorników, ułatwiających migracje. Odnotowano tam rozród żab brunatnych, kumaka nizinnego (*Bombina bombina*) – fot. 1, rzekotki (*Hyla arborea*), ropuchy szarej (*Bufo bufo*), ropuchy zielonej (*Bufo viridis*). Wszystkie te gatunki występowały w zbiornikach wodnych sąsiadujących z uprawami. Sezonowa zmienność zbiorników okresowych, w tym wysychanie oraz powstawanie nowych, wiązała się ze zmiennością środowiska oraz działalnością człowieka.



Fot. 1. Kumak nizinny (*Bombina orientalis*), to gatunek z załącznika II Dyrektywy Siedliskowej Natury 2000

Fot. S. Czachorowski

W analizowanych zbiornikach wodnych stwierdzono występowanie 8 rzędów owadów wodnych (tab. 1, 2, 4, 5). W zbiornikach znajdujących się wewnątrz upraw wierzby w 2011 i 2012 roku najliczniejszą grupę stanowiły jętki, ważki oraz dwa gatunki chruścików: *Limnephilus vittatus* i *Plectrocnemia conspersa*. Stosunkowo liczne były także *Chaoboridae* i *Dixidae*. Subdominanci reprezentowani byli przez *Chironomidae*, *Dytiscidae*, *Limnephilus stigma* oraz *Gerris* sp.

We wszystkich stanowiskach znajdujących się poza uprawą wierzby energetycznej stwierdzono większą różnorodność gatunkową (64 taksony). Wynika to głównie z faktu większej liczby zbiorników wodnych i większej ich różnorodności siedliskowej. Do najbardziej licznych grup należały jętki oraz *Chironomidae*, mniej licznie łowiono chrząszcze wodne oraz chruściki (*Limnephilus stigma*, *Anabolia lavevis*, *Athripsodes aterrimus*, *Limnephilus flavicornis*, *Trichostegia minor*) oraz larwy ważek (*Zygoptera*).

Tabela 1

Wybrane grupy owadów wodnych zebrane w zbiornikach wewnątrz plantacji wierzby energetycznej

Gatunek	Larwy	Domki	Razem	F (%)
<i>Ephemeroptera</i>	28		28	33
<b><i>Diptera</i></b>				
<i>Chaoboridae</i>	9		9	17
<i>Chironomidae</i>	5		5	17
<i>Culicidae</i>	1		1	17
<i>Dixidae</i>	8		8	17
<i>Psychodidae</i>	1		1	17
<i>Stratiomyidae</i>	2		2	17
<i>Tabanidae</i>	1		1	17
<i>Tipulidae</i>	2		2	33
<b><i>Lepidoptera</i></b>				
<i>Cataclysta lemnata</i>	2		2	33
<b><i>Trichoptera</i></b>				
<i>Anabolia lavevis</i>		1	1	17
<i>Brachycentrus</i> sp.	1		1	17
<i>Limnephilus flavicornis</i>	2		2	17
<i>Limnephilus lunatus</i>	1		1	17
<i>Limnephilus stigma</i>		3	3	17
<i>Limnephilus vittatus</i>		11	11	17
<i>Micropterna sequax</i>	2		2	17
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	8		8	17

F – frekwencja na stanowiskach

Tabela 2

Wybrane grupy owadów wodnych zebrane w zbiornikach wokół plantacji wierzby energetycznej

Gatunek	Larwy	Imagines	Domki	Razem	F (%)
1	2	3	4	5	6
<i>Ephemeroptera</i>	210			210	93
<i>Plecoptera</i>	5	1		6	7
<b>Diptera</b>					
<i>Chaoboridae</i>	17	1		18	33
<i>Chironomidae</i>	318		3	321	80
<i>Culicidae</i>	9			9	27
<i>Dicranota</i>	6			6	13
<i>Dixidae</i>	8			8	40
<i>Psychodidae</i>	1			1	7
<i>Ptychopteridae</i>	1			1	7
<i>Simulidae</i>	3			3	7
<i>Stratiomyidae</i>	13			13	27
<i>Tabanidae</i>	2			2	13
<i>Tipulidae</i>	2			2	13
<i>Diptera</i> (pozostałe)	1			1	7
<b>Lepidoptera</b>					
<i>Cataclysta lemnata</i>	2			2	7
<i>Nymphula nympeata</i>	2			2	7
<i>Lepidoptera</i> (pozostałe)	1			1	7
<b>Trichoptera</b>					
<i>Anobolia lavevis</i>	39		2	41	27
<i>Athripsodes aterrimus</i>	36		8	44	7
<i>Athripsodes cinereus</i>	1			1	7
<i>Athripsodes sp.</i>			6	6	7
<i>Chaetopteryx villosa</i>	16			16	13
<i>Cyrnus crenaticornis</i>	1			1	7
<i>Cyrnus flavidus</i>	3			3	7
<i>Ecnomus tenellus</i>	10			10	7
<i>Glyphotaelius pellucidus</i>			3	3	7
<i>Grammotaulus nitidus</i>	5			5	13
<i>Halesus digitatus</i>	8			8	13
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	1			1	7
<i>Limnephilus auricula</i>	14			14	27
<i>Limnephilus decipiens</i>	4			4	7
<i>Limnephilus flavicornis</i>	40		21	61	53

cd. tabeli 2

1	2	3	4	5	6
<i>Limnephilus griseus</i>	18		6	24	20
<i>Limnephilus politus</i>	1			1	7
<i>Limnephilus rhombicus</i>	2			2	13
<i>Limnephilus sp.</i>	24		2	26	40
<i>Limnephilus sparsus</i>			1	1	7
<i>Limnephilus stigma</i>	33		38	71	40
<i>Limnephilus vittatus</i>	16			16	27
<i>Lype reducta</i>	1			1	7
<i>Micropterna sequax</i>	2			2	7
<i>Molanna angustata</i>	1			1	7
<i>Mystacides longicornis</i>	8		3	11	13
<i>Orthotrichia sp.</i>	2			2	7
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	2			2	7
<i>Silo nigricornis</i>	8			8	7
<i>Trichostegia minor</i>	4			4	27

F – frekwencja na stanowiskach

W dwóch strumieniach stwierdzono obecność chrzączków *Micropterna sequax* – typową dla cieków wysychających latem. Wskazuje to fakt, iż okresowość tych cieków jest typowa i zasiedla je fauna przystosowana do takich warunków.

Tabela 3  
Wskaźniki naturalności w różnych typach zbiorników  
wewnątrz i wokół plantacji wierzby energetycznej

Wskaźnik naturalności	Wewnątrz upraw	Wokół upraw
Wns strumienie	11,33	8,43
Wni strumienie	14,72	7,78
Wns okresowe	11	13,44
Wni okresowe	15	13,42

Przeprowadzone analizy wskaźników naturalności wskazują, że strumienie wewnątrz upraw wierzby energetycznej charakteryzowały się wyższym stopniem naturalności (zarówno w ujęciu jakościowym, jak i ilościowym) niż strumienie wokół plantacji. Interpretować można to jako efekt mniejszego wpływu agrocenoz, ocieniania i dopływu allochtonicznego detrytus. Warunki wewnątrz upraw bardziej zbliżone są do warunków leśnych niż w otwartych agrocenozach.

Inaczej wyglądało to w odniesieniu do drobnych zbiorników, gdzie wskaźniki naturalności wykazywały większe wartości wokół uprawy w ujęciu jakościowym (Wns), zaś w ujęciu ilościowym (Wni) wyższe były w zbiornikach wewnątrz upraw. Świadczyć to może o większej liczebności gatunków typowych dla zbiorników okresowych wewnątrz plantacji. Porównując wskaźnik jakościowy (Wns) i ilościowy (Wni) w strumieniach wewnątrz uprawy, można zauważyć iż Wni przyjmuje wyższą wartość niż Wns. Może to świadczyć o występowaniu w tych strumieniach większej liczby gatunków wyspecjalizowanych.

Wstępnie opracowane materiały pozwalają wyróżnić 17 gatunków ważek (*Odonata*) reprezentujących pięć rodzin (tab. 4). W zebranych materiale silnie dominowały eurytopy. Z innych elementów synekologicznych najbardziej znaczący jest udział gatunków wód okresowych.

Zebrany materiał ważek jest typowy dla drobnych zbiorników terenów zaburzonych ekologicznie, w tym przypadku przez rolnictwo. Wskazuje na to bardzo silna dominacja eurytopów i brak ważek tyrfofilnych, które często pojawiają się w północnej Polsce. Cechą typową dla szeroko pojmowanych Mazur (Pojezierze Mazurskie, obszar Warmii i Mazur) jest domieszka ważek związanych z jeziorami. Reprezentuje je przede wszystkim *Anax parthenope*.

Tabela 4

Ważki występujące w plantach i ich otoczeniu

Gatunek	Materiał					
	L	W	I	N	%	P
<i>Lestes dryas</i>	18	–	–	18	12,5	2
<i>Lestes sponsa</i>	–	–	7	7	4,9	5
<i>Platycnemis pennipes</i>	1	–	6	7	4,9	3
<i>Ischnura elegans</i>	30	–	–	30	20,8	10
<i>Coenagrion puella</i>	11	–	13	24	16,7	15
<i>Coenagrion pulchellum</i>	7	–	–	7	4,9	2
<i>Erythromma najas</i>	13	–	–	13	9,0	9
<i>Aeshna cyanea</i>	2	–	–	2	1,4	1
<i>Aeshna mixta</i>	8	–	–	8	5,6	1
<i>Anax imperator</i>	3	–	–	3	2,1	2
<i>Anax parthenope</i>	1	–	–	1	0,7	1
<i>Libellula fulva</i>	1	–	2	3	2,1	3
<i>Libellula quadrimaculata</i>	–	4	–	4	2,8	1
<i>Orthetrum cancellatum</i>	1	–	–	1	0,7	1
<i>Sympetrum flaveolum</i>	2	–	2	4	2,8	3
<i>Sympetrum sanguineum</i>	1	–	4	5	3,5	5
<i>Sympetrum vulgatum</i>	3	–	–	3	2,1	2

L – larwy, W – wylinki, I – imagines, N – suma osobników, P – liczba prób

Tabela 5

Chrząższe wodne stwierdzone w plantach i ich otoczeniu

Gatunek	Frekwencja	Liczba osobników
<i>Haliphus flavicollis</i>	1	1
<i>Haliphus heydeni</i>	1	1
<i>Haliphus ruficollis</i>	1	1
<i>Noterus crassicornis</i>	5	8
<i>Noterus</i> sp.	1	2
<i>Hydroporus angustatus</i>	1	1
<i>Hydroporus erythrocephalus</i>	1	2
<i>Hydroporus incognitus</i>	1	1
<i>Hydroporus nigrita</i>	1	1
<i>Hydroporus palustris</i>	3	4
<i>Hygrotus decoratus</i>	1	1
<i>Hygrotus inaequalis</i>	1	2
<i>Laccophilus</i> sp.	2	2
<i>Agabus congener</i>	1	1
<i>Agabus fuscipennis</i>	1	1
<i>Ilybius ater</i>	1	1
<i>Ilybius</i> sp.	7	7
<i>Rhantus</i> sp.	1	1
<i>Rhantus grapii</i>	1	1
<i>Rhantus notatus</i>	2	3
<i>Rhantus suturellus</i>	1	1
<i>Hydaticus</i> sp.	1	3
<i>Dytiscus</i> sp.	6	23
<i>Limnebius truncatulus</i>	1	1
<i>Helophorus granularis</i>	1	1
<i>Helophorus griseus</i>	1	14
<i>Helophorus minutus</i>	6	37
<i>Helophorus nubilus</i>	1	2
<i>Hydrobius fuscipes</i>	3	4
<i>Anacaena limbata</i>	1	1
<i>Anacaena lutescens</i>	9	32
<i>Laccobius minutus</i>	2	3
<i>Helochaes griseus</i>	3	6
<i>Enochrus coarctatus</i>	1	1
<i>Enochrus testaceus</i>	2	2
<i>Hydrochara caraboides</i>	1	2
<i>Curculionidae</i> sp.	1	3
<i>Helodes</i> sp.	2	6

Jego rozwój w drobnym zbiorniku jest zjawiskiem bardzo rzadkim i wskazuje na istnienie w pobliżu silnej populacji w zbiorniku bardziej odpowiednim dla gatunku. Prawdopodobnie to samo podłoże ma zasiedlanie badanych zbiorników przez reofilnego *Platycnemis pennipes*, który na pojezierzach północnej Polski często zasiedla bogate w tlen wody litoralu jeziornego.

Proporcje ilościowe między gatunkami w zbiorze larw wskazują na zróżnicowanie trofii i trwałości zbiorników. Część jest wyraźnie eutroficzna, na co wskazuje duża liczebność *Erythromma najas*, część cechuje niższa trofia – ją preferuje zdecydowanie najliczebniejsza *Ischnura elegans*. Na charakter astatyczny części stanowisk wskazuje obecność *Lestes dryas* i *Sympetrum flaveolum*. Jednak większość wykazanych gatunków występuje tylko w wodach trwałych.

Spośród analizowanych chrząszczy wodnych stwierdzono łącznie 30 gatunków (tab. 5). W zebranych materiale dominowały gatunki eurytopowe, powszechnie spotykane w różnych typach środowisk wodnych na terenie całego kraju. Duży udział miały też tyrfofile – gatunki związane z wodami polihumusowymi. Należą do nich: *Hydroporus angustatus*, *Hydroporus erythrocephalus*, *Hydroporus incognitus*, *Hydroporus nigrita*, *Hygrotus decoratus*, *Agabus congener*, *Ilybius ater*, *Anacaena lutescens* oraz *Enochrus coarctatus*. Na uwagę zasługuje też obecność gatunków argilofilnych, takich jak: *Helophorus granularis*, *Helophorus griseus*, *Helophorus minutus* oraz *Helophorus nubilus*. W materiale obecne są też gatunki rzadziej spotykane, zwłaszcza na terenach nizinnych, np. *Hydroporus nigrita* czy *Agabus fuscipennis*.

W zbiornikach wodnych na terenie upraw i w najbliższym sąsiedztwie do tej pory zidentyfikowano 11 gatunków pluskwiaków wodnych. *Hesperocorixa sahlbergi* preferuje wody o podwyższonej kwasowości, a wraz z *Hesperocorixa linnaei* tworzy dwugatunkowy zespół wioślaków wód torfowiskowych. *Sigara distincta* jest pospolitym w Polsce gatunkiem drobnozbiornikowym. Występuje zarówno w siedliskach porośniętych roślinnością, jak i jej pozbawionych (dno gołe, piaszczyste, gliniaste, zamulone). *Sigara falleni* to gatunek pospolity i liczny na terenie całego kraju, także w górach. Unika zbiorników drobnych, płytkich i silnie zamulonych. Zwykle współwystępuje z *Sigara striata*, ale w przeciwieństwie do niej częściej spotykany jest w drobnych zbiornikach. Stosunek ilościowy obu gatunków jest uzależniony od stopnia porośnięcia dna, gdyż *Sigara falleni* żeruje na dnie nieporośniętym roślinnością. *Notonecta glauca*, charakteryzujący się dużą eurytopowością, preferuje wody średnie i małe, umiarkowanie zarośnięte. *Plea minutissima* jest gatunkiem pospolitym i dobrze znosi zasolenie wody. *Ilyocoris cimicoides* jest również gatunkiem pospolitym, zwłaszcza na niżu. Zasiedla zarówno wody stojące, jak i bieżące, preferując miejsca wypłycone, o dnie mulistym, z bujną roślinnością. *Nepa cinerea* zasiedla zarośnięte strefy przybrzeżne, silnie wypłycone, o dnie z dużą ilością szczątków organicznych.

W zebranych materiale wyróżniono takson *Velia* sp. *Gerris lacustris*, który w Polsce uchodzi za najpospolitszy i najliczniej występujący gatunek *Heteroptera* i w wielu przypadkach jest jedynym gatunkiem napowierzchniowym. *Gerris odontogaster* to w Polsce najpospolitszy gatunek nartnika, chociaż zazwyczaj nie występuje zbyt licznie. Jest najbardziej eurytopowy spośród krajowych nartników. Zasiadła nasłonecznione powierzchnie różnych typów wód stojących oraz cieków. Najczęściej spotykany jest na powierzchni drobnych zbiorników, jak stawy, glinianki, torfianki, starorzecza. Z kolei *Gerris thoracicus* unika rejonów zalesionych. Określany jest jako gatunek halofilny, gdyż zdaje się preferować wody o podwyższonym zasoleniu.

W uprawach oraz ich otoczeniu stwierdzono dużą liczbę gatunków motyli, w tym typowo leśnych, rozradzających się w uprawach wierzby. Podobnie stwierdzono obecność wielu gatunków chrząszczy lądowych, w tym odżywiających się wierzbą foliofagów. Jest to typowa fauna związana z agrocenozami oraz uprawami wierzby. W uprawie w Łężanach obserwowano obecność motyla czerwonończyka nieparek (*Lycaena dispar*), jednak miejsce stałego występowania z rozwojem gąsienic zlokalizowano w pobliżu uprawy, a nie samej uprawie. Czerwonończyk nieparek (fot. 2) to gatunek z załącznika Natury 2000.



Fot. 2. Czerwonończyk nieparek (*Lycaena dispar*), samica, gatunek z załącznika II Dyrektywy Siedliskowej Natury 2000



Tabela 6

Grzyby glebowe stwierdzone w plantach i ich otoczeniu

Gatunek	L	%	S	%
<i>Absidia macrospora</i>	17	1,62		
<i>Aspergillus amstelodamii</i>	1	0,09		
<i>Aspergillus fischeri</i>			1	0,06
<i>Aspergillus fumigatus</i>			6	0,37
<i>Aspergillus nidulans</i>			2	0,12
<i>Aspergillus niger</i>	1	0,09		
<i>Fusarium nivale</i>			4	0,25
<i>Gliocladium roseum</i>	4	0,38		
<i>Humicola fuscoatra</i>	115	10,94		
<i>Humicola grisea</i>	1	0,09		
<i>Humicola nigrescens</i>	3	0,28		
<i>Mortierella globulifera</i>	2	0,19		
<i>Mucor circinelloides</i>	2	0,19		
<i>Mucor fuscus</i>	1	0,09		
<i>Mucor hiemalis</i>	42	3,99	182	11,33
<i>Mucor luteus</i>	1	0,09		
<i>Mucor mucedo</i>	30	2,85		
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1	0,09		
<i>Penicillium claviforme</i>			94	5,85
<i>Penicillium janintheta</i>	461	43,86		
<i>Penicillium nalgiovensis</i>			291	18,12
<i>Paecilomyces niveus</i>			871	54,23
<i>Penicillium notatum</i>	249	23,69	85	5,29
<i>Penicillium thomii</i>	54	5,14		
<i>Penicillium ochraosalmoneum</i>	12	1,14		
<i>Penicillium variabile</i> Soop			8	0,49
<i>Penicillium waksmanii</i>	10	0,95	2	0,12
<i>Rhizopus nigricans</i>	1	0,09	7	0,43
<i>Rhizopus spp.</i>			33	2,05
<i>Scopularopsis brevicaulis</i>			6	0,37
<i>Trichoderma koningii</i>			5	0,31
<i>Trichoderma polysporum</i>			2	0,12
<i>Trichoderma viride</i>			1	0,06
<i>Verticillium lactarii</i>	41	3,90		
<i>Verticillium tenerum</i>			3	0,18
<i>Zygorhynchus heterogamus</i>	2	0,19	3	0,18

L – Łęzany, S – Samławki

Na powierzchni w Łęczanach w uprawie wierzby zaobserwowano samotne pszczoły, w tym gatunek pszczolinki napiaskowej (*Andrena vaga*), gnieźdzącej się w ziemi. O ile kwitnące wierzby są wiosenną bazą pokarmową dla wielu gatunków owadów, w tym pszczoły miodnej, to dla tego gatunku głównym pożywieniem jest pyłek wierzb. Ta samotna pszczoła występuje na terenach otwartych i na glebach piaszczystych lub gliniastych, przede wszystkim na przydrożach i piaskowniach. Gatunek ten w krajobrazie z intensywnym rolnictwem zanika. O ile same plantacje wierzby są ważnym źródłem pokarmu, uzupełniając zasoby pyłku z dziko rosnących wierzb, to dodatkowo linie technologiczne na obrzeżach plantacji, ze względu piaszczystą glebę i brak zabiegów agrotechnicznych, mogą być miejscem gniazdowania. Obserwacje owadów lądowych (w tym zapyłaczy, takich jak motyle i błonkoskrzydłe) wskazują, że większa ich różnorodność gatunkowa występuje na obrzeżach upraw, w szczególności w tzw. liniach technologicznych.

W doświadczeniach najwięcej wyizolowanych grzybów stanowiła populacja rodzaju *Penicillium* (Łęczany: *P. janintheum* 44%, *P. notatum* 24%). W Samławkach gatunkiem dominującym okazał się *Paecilomyces niveus* (54%). Pozostała populacja grzybów może być źródłem informacji na temat obecności roślin uprawnych. Grzyby te stanowią naturalny komponent środowiska glebowego. W 3-letniej monokulturze wierzby zaobserwowano grzyby z rodzaju *Trichoderma*. Mają one korzystny wpływ na jakość gleby w uprawach rolniczych. Minimalna liczebność *F. nivale* z Samławek dowodzić może, iż była tam prowadzona w przeszłości uprawa zbóż. Wyizolowane grzyby nie wpływają negatywnie na stan zdrowotności roślin.

## 4. Dyskusja

Wierzby traktowane są jako zagrożenie bioróżnorodności, ale tylko w Australii i Nowej Zelandii, gdzie są gatunkami obcymi i inwazyjnymi (Cremer 2003; Clift, Steel 2012). W Australii zagrożenie wynika z wpływu na hydrologię oraz biocenozy wodne. Rodzime gatunki roślin są dostarczycielami detrytusu w ciągu całego roku, natomiast wierzby zrzucają liście jesienią, co niesie konsekwencje dla rodzimych bezkręgowców, przystosowanych do innego cyklu dopływu detrytusu (Cremer 2003; Matthew i in. 2008). Taka sytuacja nie występuje w Polsce, gdyż wierzby są gatunkami rodzimymi, a jesienne zrzucanie liści i sezonowy dopływ detrytusu jest w naszej strefie klimatycznej procesem naturalnym i dotyczy wszystkich drzew liściastych. Nie można więc mówić o negatywnym wpływie upraw wierzby w tym zakresie.

W Europie zadrzewienia i zakrzaczenia wierzbowe traktowane są jako obszary ważne w ochronie bioróżnorodności (The Management 1994; Wickham

i in. 2010), m.in. przez tworzenie miejsc schronienia dla ptaków i ssaków (Kennedy, Southwood 1984). Potwierdzają to prezentowane badania upraw w Łęzanach. Wielu badaczy twierdzi, że uprawy wierzby przyczyniają się do zwiększenia bioróżnorodności flory i fauny w porównaniu do innych upraw rolniczych (Rowe i in. 2007, 2009; Kuś, Faber, 2009; Bolibok, Grudziński 2009). W uprawach wierzby w północno-wschodniej Polsce odnotowywano dużą bioróżnorodność bezkręgowców (Waleryś, Sądej 2008), ale stosunkowo niewiele było gatunków owadów zaliczanych do szkodników (Czerniakowski 2010). Uprawy wierzby mogą przyczyniać się do wzrostu bogactwa gatunkowego roślin w stosunku do tradycyjnych upraw rolnych, a także zwiększenia liczby gatunków ptaków i owadów w porównaniu z gruntami ornymi (Jaworska 2010). Gardiner i in. (2010) sugerują, że obecność plantacji roślin wieloletnich w krajobrazie znacznie zwiększa liczbę i liczebność gatunków oraz różnorodność owadów w porównaniu do upraw jednorocznych, takich jak kukurydza. Ważnym źródłem pyłku i nektaru dla owadów zapylających może być 2- oraz 3-letnia plantacja wierzby, zwłaszcza na początku sezonu wegetacyjnego (Jaworska 2010). Plantacje wierzby są także atrakcyjnym siedliskiem dla płazów, gadów oraz małych ssaków (Rowe i in. 2007). W odniesieniu do płazów prawidłowość ta została zaobserwowana w plantacjach zlokalizowanych w okolicy Łęzan.

W plantacjach południowo-wschodniej Polski największą bioróżnorodnością szkodników charakteryzowały się plantacje wikliny (*Salix viminalis*). Jednakże owady zaliczane do szkodników do fitofagi (Czerniakowski 2010). W plantacjach wierzby w obrębie gruntów miejscowości Łęzany i Samławki również stwierdzane były gatunki traktowane jako szkodniki upraw. Jakkolwiek wprowadzanie upraw wierzby może w jakimś sensie przyczyniać się do dyspersji owadów fitofagicznych, uważanych za szkodniki, to w sensie ochrony bioróżnorodności nie pociąga to za sobą negatywnych konsekwencji. Wiązać się to może tylko z ewentualnymi uszkodzeniami samych upraw, a nie negatywnym wpływem na bioróżnorodność krajobrazu i zagadnień związanych z ochroną przyrody.

Badane w okolicach Łęzan dwie uprawy różniące się plozeniem w krajobrazie, nieco wiekiem, a przede wszystkim sąsiedztwem innych siedlisk wyraźnie różniły się pod względem obecności gatunków wielu grup zwierząt i grzybów glebowych. Wskazuje to na spory indywidualizm poszczególnych plantacji. Należy więc spodziewać się różnic w porównaniu do badań bioróżnorodności upraw wierzby z innych rejonów Polski i Europy. Cecha dużej zmienności wynika nie tylko z cyklu upraw (koszenia wierzby co 2–3 lata), ale i dużej zmienności siedlisk, wynikającej z warunków pogodowych i hydrologicznych. co upodabnia je w funkcjonowaniu ekologicznym do innych obiektów, np. zbiorników okresowych, ujmowanych w koncepcji wysp ekologicznych (Czachorowski 1994, 1997; Czachorowski, Szczepańska 1991). Duży indywidualizm

upraw widoczny jest także wśród grzybów glebowych. Wiązać się to może z przekształceniami wynikającymi z zaniechania upraw i związanych z tym zabiegów agrotechnicznych oraz procesami sukcesji ekologicznej.

Dotychczasowe obserwacje wskazują raczej na pozytywny wpływ plantacji wierzby energetycznej na różnorodność biologiczną w skali całego krajobrazu, przede wszystkim pozytywnie wpływając na gatunki zagrożone zabiegami intensywnego rolnictwa. Plantacje te stanowią zarówno siedliska refugialne dla wielu gatunków, jak i miejsce schronienia i żerowania dla dużych zwierząt w heterogennym krajobrazie rolniczym.

## 5. Podsumowanie

Dotychczasowe badania wskazują, że brak jest negatywnych skutków dla bioróżnorodności w uprawach wierzby oraz ich bliskim sąsiedztwie. Plantacje wierzby mogą być czasowym schronieniem dla niektórych kręgowców oraz bazą pokarmową dla owadów, w szczególności dla melitofagów oraz ptaków. Pozytywny wpływ plantacji wierzby w krajobrazie pojeziernym wiąże się najpewniej ze wzrostem liczby dostępnych siedlisk oraz zwiększeniem mozaikowości krajobrazu.

Dla pełnej oceny wpływu plantacji na bioróżnorodność konieczne są badania wieloletnie, gdyż procesy sukcesji i związana z tym dyspersja gatunków z otaczającego krajobrazu i kolonizacja siedlisk trwa co najmniej kilkanaście lat. Wskazane jest także uwzględnienie metody LCA (*life cycle assessment*), umożliwiającej uchwycenie oddziaływania na ekosystemy w znacznie szerszej i długofalowej skali.

## Piśmiennictwo

- Banaszak J. (red.). 2002. *Wyspy środowiskowe. Bioróżnorodność i próby typologii*. Wyd. Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz: 1-302.
- Bolibok Ł., Grudziński J. 2010. *Krytyczna ocena możliwości adaptacji metody LCA do surowcowej produkcji w rolnictwie*. Inżynieria Rolnicza 7(125): 29-34.
- Clift S. H., Steel J. 2012. *Willows: friend or foe? A national approach to willow management in Australia*. 15th Int. River Symposium, Melbourne, Australia, 8-11 October 2012, Rivers in a Rapidly urbanizing world.
- Chmielewski T. J. 1988. *O strefowo-pasmowo-węzłowej strukturze układów ponadekosystemowych*. Wiad. Ekol., 34: 165-188.
- Cremer K.W. 2003. *Introduced willows can become invasive pests in Australia*. Biodiversity, 4(4): 17-24.
- Czachorowski S. 1993. *Krajobraz ekologiczny czy tylko hierarchia niejednorodności*. W: Banaszak J. (red.). *Krajobraz ekologiczny*. WSP, Bydgoszcz: 67-80.

- Czachorowski S. 1994. *The role of disturbances and barriers in working and development of biocenosis*. W: Richling A., Malinowska E., Lechnio J. (eds.). *Landscape research and its applications in environmental management*. Warszawa: 49–54.
- Czachorowski S. 1997. *Związek cykli życiowych z heterogennością środowiska i krajobrazu*. W: Puzskar T., Puzskar L. (red.). *Współczesne kierunki ekologii – ekologia behawioralna*. Wyd. UMCS, Lublin: 389–398.
- Czachorowski S., Szczepańska W. 1991. *Small temporary pools in the vicinity Mikołajki and their caddis fly (Trichoptera) fauna*. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 38: 85–104.
- Czerniakowski Z. W. 2010. *Bioróżnorodność szkodliwej entomofauny na wierzbach w południowo-wschodniej Polsce*. *Fragm. Agronom.*, 27(4): 19–24.
- Gardiner M.A., Tuell J.K., Gibas J., Ascher J.S., Landis D.A. 2010. *Implications of three model biofuel crops for beneficial arthropods in agricultural landscapes*. *Bioenerg. Res.*, 3: 6–19.
- Jaworska J. 2010. *Bioróżnorodność lotnej entomofauny pożytecznej w uprawach wierzby energetycznej*. *Progress in Plant Protection*, 50(3): 1486–1490.
- Kennedy C.E.J., Southwood T.R.E. 1984. *The number of species of insects associated with British trees: a re-analysis*. *J. Animal Ecology*, 53: 455–478.
- Kuś J., Faber A. 2009. *Produkcja roślinna na cele energetyczne a racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcji Polski*. Puławy: 63–76.
- Matthew J., Vlok A., Travis K. 2008. *Strategic action plan for willows in the North Central Region*. Victoria Report by Alluvium and HLA ENSR for North Central Catchment Management Authority: 1–82.
- Pullin A. S. 2004. *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa: 1–393.
- Rowe R.L., Street N.R., Taylor G. 2007. *Identifying potential environmental impacts of large scale deployment of dedicated bioenergy crops in UK*. *Renew. Sustain. Energy Rev.*: 90–297.
- Rowe R.L., Street N.R., Taylor G. 2009. *Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 271–290.
- The Management of Semi-natural Woodlands. 8. Wet Woodlands*, 1994. Forestry Commission, Edinburgh: 1–28.
- Trojan P., Wiśniewska G. 2001. *Miasto jako archipelag wysp śródlądowych*. W: Barczak T., Indykiewicz P. (red.). *Bioróżnorodność i ekologia populacji zwierzęcych w środowiskach zurbanizowanych*. Wyd. NICE, Bydgoszcz: 10–16.
- Waleryś G., Sądej W. 2008. *Chrzęszcze (Coleoptera) zagrażające plantacjom wierzby krzewiastej w okolicy Olsztyna*. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin*, 48(3): 993–997.
- Wickham J., Rice B., Finnan J., McConnon R. 2010. *A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad*. National Council for Forest Research and Development, Dublin, Ireland.



## ROZDZIAŁ 4

### **Dynamika stanów oraz stężeń składników w wodach gruntowych w warunkach uprawy wierzby na cele energetyczne**

### **Dynamics of groundwater level and concentrations of components in groundwater conditions of the cultivation of the willow to energy purposes**

*Sławomir Szymczyk, Ilona Świtajska, Angela Potasznik, Ireneusz Cymes*

Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: wody gruntowe, wierzba  
związki azotu, fosfor.

Key words: ground water, willow, compounds  
of nitrogen, phosphorus.

#### Streszczenie

Badania nad zmiennością stanów i jakością wód gruntowych realizowano w okresie od stycznia 2011 roku do grudnia 2012 roku na plantacji wierzby założonej wiosną 2010 roku na gruntach należących do Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Łężanach (woj. warmińsko-mazurskie) w obrębie gruntów miejscowości Łężany i Samławki. Wody gruntowe pobierano z czterech piezometrów, które umieszczono na wierzcholinie, stoku oraz w obniżeniu terenu. W celu porównania różnych form użytkowania gruntów oraz wpływu oddziaływania uprawy wierzby na jakość wód gruntowych umieszczono dodatkowe trzy piezometry: jeden na gruncie ornym – reprezentującym wpływ intensywnej uprawy gleb oraz dwa w lesie (na wzniesieniu i w obniżeniu terenu) – na terenie o najmniejszej antropopresji. Wyniki z dwuletniego okresu badań wykazały, że w warunkach dobrego zaopatrzenia w wodę uprawa wierzby na cele energetyczne, w porównaniu do gruntów ornych i lasu, wpływa na obniżenie zanieczyszczenia wód gruntowych  $N-NO_3$  i  $N-NO_2$ .

#### S u m m a r y

The research on the changeability of groundwater level and groundwater quality was being carried out in the period from January 2011 to December 2012 on the willow plantation which was established in spring of 2010. The willow plantation belonging to the Didactic and Experimental Station in Łężany (Warmian-Mazurian province) of land within the village Łężany and Samławki. On the willow plantation the groundwater were being taken up from 4 piezometers which were put on elevation land, of slope and in the depression terrain. In order to compare different forms of land use and the influence of the cultivation of the willow on the quality of groundwater placed additional 3 piezometers, were put: 1 – on the arable land – representing the impact of the intensive cultivation of the soil and 2 – in the forest (on the elevation land and in the depression land) – the area with the least anthropogenic pressure. The results from the two-year period showed that in conditions of the good water supply the cultivation of the willow to energy purposes, as compared to the arable land and forest affects the reduction contamination  $N-NO_3$  and  $N-NO_2$  in groundwater.

## 1. Wstęp

Polska, dostosowując się do przepisów Unii Europejskiej, podjęła zobowiązanie, że w całkowitym bilansie energetycznym do 2020 roku 15% energii będzie pochodziło ze źródeł odnawialnych, przy czym uprawa roślin energetycznych powinna być preferowana na glebach słabszych (Grzybek 2004). Aby sprostać wspomnianym warunkom, należałoby wygospodarować ok. 2 mln ha gruntów ornych o przeciętnej urodzajności (Styszko i in. 2010) i jest to możliwe, ponieważ według różnych szacunków w Polsce na ten cel można przeznaczyć od 1,5 do 2 mln ha (Wierzbicka 2010).

Wielkość plonowania roślin energetycznych zależy od rodzaju gleb, technologii uprawy i zbioru, a także warunków meteorologicznych. Wiąże się z wykorzystywaniem składników pokarmowych z gleb, a zatem wpływa na produkcję biomasy. Im większa biomasa, tym większa bioakumulacja składników, a to potencjalnie ogranicza wymywanie ich do wód gruntowych (Czajkowska 2010; Mortensen i in. 1998; Sapek 2010; Styszko i in. 2010). W dogodnych warunkach wilgotnościowych na glebach mineralnych i mineralno-organicznych można uzyskać plon świeżej masy wierzby rzędu  $38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Jurczuk i in. 2010; Wierzbicka 2010).

Problemem gospodarki wodnej w Polsce jest duża czasowa i przestrzenna zmienność opadów oraz ekstremalne zjawiska hydrologiczne, co może wpływać na obniżenie zwierciadła wody gruntowej. Utrudniony pobór wody przez rośliny może być najistotniejszą przyczyną nieurodzaju w rolnictwie (Pierzgałski, Jeznach 2006).

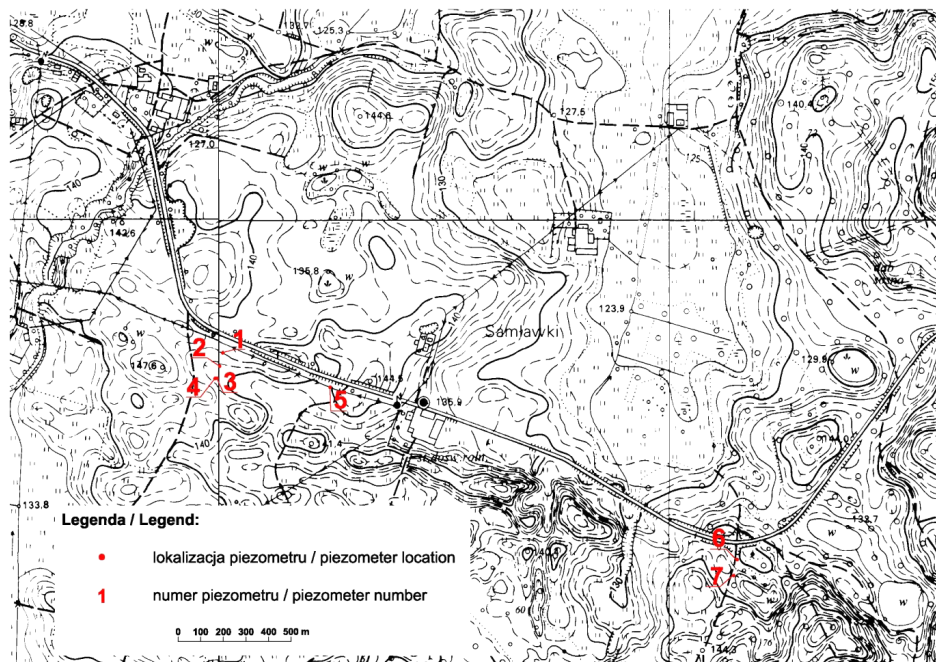
O dostępności wody dla roślin decyduje wilgotność gleby i głębokość położenia zwierciadła wód gruntowych, co jest silnie powiązane z ukształtowaniem terenu. Szczególnie zależność ta występuje na terenach falistych, na których wody gruntowe zalegają płycej i charakteryzują się mniejszą amplitudą wahań (Kozłowski, Komisarek 2012; Świtajska i in. 2013). Dostępność wody dla roślin wpływa nie tylko na ich plonowanie, ale decyduje również o możliwości pobierania składników pokarmowych. Ze względu na uprawę i nawożenie gleb większe stężenia składników pokarmowych występują w płytko położonych wodach gruntowych. Jedynie w przypadku gruntów przepuszczalnych, które charakteryzuje większa intensywność infiltracji wód opadowych w głąb profilu glebowego, stężenia łatwiej migrujących składników są zazwyczaj większe w wodach gruntowych głębiej położonych (Czajkowska 2010; Kozłowski, Komisarek 2012; Świtajska i in. 2013). Największe ilości składników biogenych do gleb wprowadzane są na intensywnie użytkowanych gruntach ornych, gdzie istnieje również potencjalnie największe zagrożenie zanieczyszczenia wód gruntowych składnikami nawozowymi (Sapek 2010; Szymczyk 2010a). Zaprzestanie produkcji rolniczej w wyniku odłogowania bądź ugorowania gleb nie zatrzymuje obiegu składników w środowisku (Szymczyk 2010a).



Celem niniejszego opracowania było określenie wpływu uprawy wierzby energetycznej na dynamikę zasobów (zmiennosc poziomu wód gruntowych) oraz stężenia w nich mineralnych związków azotu ( $N-NO_2$ ,  $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ ) oraz fosforu ( $P_{ogól}$ , i  $P-PO_4$ ) na tle obiektów porównawczych, które stanowiły intensywnie użytkowane grunty orne (największa antropopresja) oraz las – obszar charakteryzujący się najmniejszym nasileniem antropopresji.

## 2. Metody badań

Badania nad wpływem uprawy wierzby na dynamikę stanów i jakości wód gruntowych realizowano w latach 2011–2012 na obiekcie zlokalizowanym na gruntach należących do Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Łęczanach (woj. warmińsko-mazurskie) w obrębie gruntów miejscowości Łęczany i Samławki. Plantacja wierzby została założona na terenie lekko pofałdowanym, czyli typowym dla warunków pojeziernych. W celu zbadania wpływu uprawy wierzby oraz konfiguracji terenu na obiekcie badawczym zainstalowano cztery piezometry (rys. 1).



*Objaśnienia:* Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

Umieszczono je w transekcie uwzględniającym zmienność rzeźby terenu. Jeden punkt badawczy (piezometr nr 1 – 3,90 m głębokości) umieszczono na wierzchowinie, drugi na stoku (nr 2 – 3,25 m głębokości) oraz dwa o zróżnicowanej głębokości (nr 3 – 1,62 m i nr 4 – 2,65 m głębokości) w obniżeniu terenu (tab. 1).

Tabela 1

Charakterystyka punktów pomiarowych

Numer punktu	Rzędna piezometru [n.p.m.]	Głębokość piezometru [m]
1	138,34	3,90
2	137,17	3,25
3	136,63	1,62
4	136,63	2,65
5	135,85	3,07
6	135,25	6,06
7	132,45	3,45

*Objaśnienia:* Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

W celu porównania wpływu uprawy wierzby z oddziaływaniem innych form zagospodarowania terenu na jakość wód gruntowych kolejne trzy punkty badawcze zainstalowano na obiektach porównawczych. Były to grunty orne (nr 5 – 3,07 m głębokości) reprezentujące wpływ intensywnej uprawy gleb oraz las jako obszar o najmniejszym nasileniu antropopresji. W lesie ze względu na pofałdowaną rzeźbę terenu zainstalowano dwa piezometry: jeden (nr 6 – 6,06 m głębokości) na wzniesieniu oraz drugi (nr 7 – 3,45 m) w lokalnym obniżeniu terenu.

Wody do analiz chemicznych pobierano raz w miesiącu. W laboratorium Katedry Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska UWM w Olsztynie standardowymi metodami oznaczano w nich: azot azotanowy III – N-NO<sub>2</sub>, azot azotanowy V – N-NO<sub>3</sub>, azot amonowy – N-NH<sub>4</sub> oraz fosfor ogólny i fosforanowy. Każdorazowo przed poborem wód gruntowych do analiz mierzono głębokość ich położenia przy pomocy gwizdka hydrologicznego.

Wyniki badań omówiono, uwzględniając dwa przedziały czasowe, tj. półrocze letnie obejmujące okres wegetacyjny (IV–IX) oraz półrocze zimowe obrazujące okres pozawegetacyjny (X–III). W analizie stężeń badanych biogenów w wodach gruntowych uwzględniono najmniejsze (Min) i największe (Max) stężenia badanych wskaźników, obliczono średnie dla półroczy, a także współczynnik zmienności (V%). W okresie badań opady atmosferyczne (Kętrzyn) wynosiły: 570 mm (okres wegetacyjny – 420 mm) w 2011 roku i 672 mm (okres wegetacyjny 457 mm) w 2012 roku ([www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)). Głębokość

położenia wód gruntowych na omawianej plantacji wierzby oraz na obiektach porównawczych przedstawiono szczegółowo we wcześniejszej publikacji (Świtajska i in. 2013).

### **3. Wyniki i dyskusja**

#### **3.1. Pokrycie potrzeb wodnych**

Uprawa wierzby wiciowej wymaga terenów wilgotnych, lecz nie podlegających długotrwałemu stagnowaniu wody na powierzchni terenu. Wysokie plonowanie wierzby można uzyskać nie tylko na glebach żyzniejszych, ale również na glebach lekkich o dobrej dostępności wody dla roślin, co zapewnia płytko położone zwierciadło wód gruntowych albo odpowiednia ilość opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym. Za optymalny poziom wody gruntowej pod uprawą wierzby uważa się głębokość 100–130 cm na glebach piaszczystych i 160–190 cm na glebach gliniastych (Dubas 2003; Jurczuk i in. 2010; Styszko i in. 2010; Wierzbicka 2010).

Głębokość położenia wód gruntowych na omawianej plantacji wierzby oraz na obiektach porównawczych była silnie uzależniona od ukształtowania terenu, nasilenia intensywności parowania terenowego w okresie wegetacji roślin oraz aktualnie panujących warunków atmosferycznych (ilość i rozkład opadów, temperatura powietrza). Na plantacji wierzby w sezonie wegetacyjnym wody gruntowe występowały na głębokości od średnio 130 cm w obniżeniu terenu do średnio 372 cm na wierzchowinie. W sezonie pozawegetacyjnym, czyli w warunkach przewagi opadów nad parowaniem, poziom wód gruntowych utrzymywał się na głębokości średnio 124 cm w obniżeniu terenu i 334 cm na wierzchowinie. Wskazuje to na dobre zaopatrzenie wierzby w wodę jedynie w lokalnym obniżeniu terenu, zaś na stoku i wierzchowinie w okresie wegetacji występowały okresowo niedobory wodne i wówczas rośliny korzystały tylko z wód pochodzących z bieżących opadów atmosferycznych. Pod gruntami ornymi woda występowała nieco płycej: w okresie wegetacyjnym na głębokości średnio 116 cm, a w okresie pozawegetacyjnym – średnio 105 cm. Znacznie niższe poziomy wód gruntowych odnotowano na wzniesieniu terenu w lesie – w sezonie wegetacyjnym średnio 574 cm, a w okresie jesienno-zimowym średnio na głębokości 568 cm (Świtajska i in. 2013).

Zasadniczo wszystkie rośliny uprawiane na cele energetyczne wymagają dobrego zaopatrzenia w wodę, ale na jej brak najsilniej reaguje wierzba. Roczne (głównie w okresie wegetacji) zużycie wody przez wierzbę waha się w granicach 550–650 mm, zaś miskanta 510–600 mm. Dlatego lokalizacja upraw roślin energetycznych na terenie Polski musi być dostosowana do głębokości wód

gruntowych. Jest to bardzo istotne, ponieważ niedostatek wody z opadów atmosferycznych rośliny uzupełniają, pobierając do 200 mm wody z zasobów gruntowych. W konsekwencji może to prowadzić do obniżenia zwierciadła wód w gruncie nawet o ok. 1 m (Hall 2003). Dobre warunki wilgotnościowe przy uprawie wierzby może zapewnić odpowiednia ilość opadów atmosferycznych, która nie powinna być mniejsza niż 575 mm rocznie (Jadczyzyn 2006), ale większa ich część powinna występować w okresie wegetacyjnym. Taka ilość i rozkład opadów zazwyczaj pokrywa potrzeby wodne wierzby nawet w przypadku głębokiego położenia wód gruntowych. Niskie poziomy wód gruntowych występują zazwyczaj na glebach zaliczanych do kompleksów żytnych dobrego i bardzo dobrego, zbożowo-pastewnego słabego oraz do użytków zielonych słabych i bardzo słabych (Jadczyzyn 2006; Styszko i in. 2010). W przypadku, gdy woda gruntowa opada poniżej zasięgu korzeni wierzby, to w dłuższych okresach bezopadowych (duża nierównomierność opadów w sezonie wegetacyjnym) może ona silnie reagować obniżką plonu. Alternatywą w tej sytuacji jest nawadnianie.

Pokrycie niedoborów wodnych w okresie wegetacji wpływa na osiągnięcie plonu biomasy większego o ponad 40%, w porównaniu do braku nawadniania (Podlaski i in. 2009; Styszko i in. 2010). Głębokość położenia zwierciadła wód gruntowych jest silnie powiązana z ukształtowaniem terenu. Szczególnie zależność ta występuje na terenach falistych, na których wody gruntowe zalegają płycej, wykazując jednocześnie mniejszą amplitudę wahań. W głęboko położonych wodach gruntowych stężenia większości składników są na ogół mniejsze, ale w przypadku gruntów zbudowanych z utworów porowatych (piaski o różnej granulacji bądź żwiry) szczególnie stężenia związków azotowych i fosforowych oraz potasu bywają większe. Wynika to z tego, że niski poziom wód gruntowych może powodować jednocześnie ograniczenie biosorpcji składników i skumulowanie ich w małej objętości (Czajkowska 2010).

### **3.2. Wpływ uprawy wierzby na jakość wód gruntowych**

Na jakość wód gruntowych wpływają warunki naturalne (litologia, tło geochemiczne, skała macierzysta, właściwości gleby, infiltracja wód, interakcja z innymi warstwami wodonośnymi) oraz działalność antropogeniczna (rolnictwo, przemysł, rozwój miast, zwiększenie wykorzystania zasobów wód powierzchniowych i głębinowych). Na zmienność składu chemicznego płytkich wód gruntowych może mieć wpływ także ukształtowanie terenu, sposób jego zagospodarowania, jak również warunki atmosferyczne charakterystyczne dla poszczególnych sezonów (D'Agostino i in. 1998; Chan 2001; Kozłowski i Komisarrek 2012; Michalska 2001; Szymczyk 2010c). Zmienność jakości wód grun-

towych w okresie roku w znacznym stopniu jest uzależniona od aktualnych warunków meteorologicznych (opady i temperatura), stymulujących bądź ograniczających biosorpcję składników. W okresie wegetacji przy dobrej dostępności wody rośliny akumulują duże ilości składników pokarmowych, co przekłada się na zmniejszenie ich stężeń w wodach gruntowych. Po zakończeniu wegetacji (okres jesienny) stężenia składników w wodach gruntowych są większe niż w okresie intensywnego wzrostu i rozwoju roślin (okres letni) na skutek ich obniżonego zapotrzebowania na składniki pokarmowe (Czajkowska 2010). Podczas odnawiania się zasobów wód gruntowych w okresie jesiennym składniki te łatwo wymywane są z gleby do wód gruntowych (Szymczyk 2010a).

Spośród mineralnych form azotu ( $N-NO_2$ ,  $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ ) w badanych wodach gruntowych w najmniejszym stężeniu występował  $N-NO_2$  (tab. 2). Jest to forma przejściowa, której zawartość w glebie i wodzie gruntowej zależy od intensywności mineralizacji azotu organicznego zawartego w glebie oraz przebiegu procesu nityfikacji.

Tabela 2  
Dynamika stężenia  $N-NO_2$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] w wodach gruntowych w latach 2011–2012 w zależności od sposobu użytkowania terenu

Nr	Półrocze letnie			Półrocze zimowe			Średnia
	min-max	średnia	V [%]	min-max	średnia	V [%]	
<b>Plantacja wierzby</b>							
1	0,0065–0,0611	0,0220	88	0,0036–0,0074	0,0053	30	0,0164
2	0,0005–0,0724	0,0235	106	0,0007–0,0692	0,0181	124	0,0207
3	0,0004–0,0249	0,0095	86	0,0013–0,0154	0,0060	62	0,0076
4	0,0029–0,0143	0,0086	49	0,0018–0,0588	0,0174	118	0,0130
<b>Grunty orne</b>							
5	0,0002–0,0273	0,0097	79	0,0011–0,0104	0,0057	56	0,0078
<b>Las</b>							
6	0,0001–0,0189	0,0056	121	0,0036–0,0079	0,0057	37	0,0056
7	0,0001–0,0535	0,0081	178	0,0007–0,0792	0,0119	190	0,0099

Objaśnienia: Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

Wpływa na to temperatura i wilgotność gleby oraz panujące w niej warunki oksydacyjno-redukcyjne. Zmienność tych czynników powodowała bardzo duże zróżnicowanie stężeń  $N-NO_2$  w wodzie gruntowej. Wahało się ono od  $0,0001 mg \cdot dm^{-3}$  w okresie letnim na wzniesieniu i obniżeniu terenu pod lasem do  $0,0724 mg \cdot dm^{-3}$  pod plantacją wierzby na stoku. W wodzie gruntowej pod plantacją wierzby zarówno najmniejsze, jak i największe stężenia  $N-NO_2$  występowały

w półroczu letnim. Wahwały się one od  $0,0004 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  w obniżeniu terenu (piezometr nr 3) do  $0,0724 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  N-NO<sub>2</sub> na stoku (nr 2). Największą zmienność stężeń N-NO<sub>2</sub> w wodach gruntowych pod wierzbą stwierdzono na stoku (V=106% w półroczu letnim i V=124% w półroczu zimowym), zaś mniejszą w wodzie gruntowej w obniżeniu terenu. Wynikało to zapewne z bardziej ustabilizowanego położenia wód gruntowych wpływającego na mniejszą intensywność wymywania N-NO<sub>2</sub> w głąb profilu glebowego. W wodzie pod gruntami ornymi zarówno stężenia N-NO<sub>2</sub>, jak i ich zakres zmienności były zbliżone do wartości stwierdzanych pod plantacją wierzby w obniżeniu terenu. W porównaniu do nich znacznie większe zróżnicowanie stężeń N-NO<sub>2</sub> (V=178 % w półroczu letnim i V=190 % w półroczu zimowym) wystąpiło w wodzie gruntowej w obniżeniu terenu pod lasem.

W zależności od aktualnych warunków meteorologicznych oraz od sposobu użytkowania i ukształtowania terenu zawartość N-NO<sub>3</sub> w badanych wodach gruntowych była bardziej zróżnicowana w półroczu zimowym niż letnim. W odniesieniu do obiektów porównawczych znacznie większą zmienność jego stężeń stwierdzono w wodach gruntowych pod plantacją wierzby (tab. 3).

Tabela 3  
Dynamika stężenia N-NO<sub>3</sub> [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ] w wodach gruntowych w latach 2011–2012 w zależności od sposobu użytkowania terenu

Nr	Półrocze letnie			Półrocze zimowe			Średnia
	min-max	średnia	V [%]	min-max	średnia	V [%]	
<b>Plantacja wierzby</b>							
1	3,447–28,000	19,537	39	13,043–24,400	19,003	24	19,359
2	0,010–10,496	4,678	80	0,025–10,000	2,291	155	3,433
3	0,084–1,343	0,381	100	0,068–2,847	0,612	138	0,502
4	0,071–0,300	0,186	43	0,094–0,382	0,181	54	0,184
<b>Grunty orne</b>							
5	0,202–4,793	2,2047	55	1,783–8,802	4,6323	50	3,418
<b>Las</b>							
6	0,103–0,260	0,1816	30	0,174–0,304	0,2390	27	0,198
7	0,065–0,240	0,1567	33	0,167–1,072	0,4170	63	0,281

Objaśnienia: Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

W sezonie zimowym współczynnik zmienności (V) stężeń N-NO<sub>3</sub> w wodach gruntowych pod plantacją wierzby wahał się od 24% na wierzchowinie do 138% w obniżeniu terenu (głębszym piezometr nr 4). Spośród obiektów znajdujących się na plantacji wierzby najmniejsze stężenia N-NO<sub>3</sub> ( $0,010 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) stwierdzono w sezonie wegetacyjnym w wodach gruntowych na stoku i w obniżeniu

terenu (nr 3 – 0,084 mg · dm<sup>-3</sup> i nr 4 – 0,071 mg · dm<sup>-3</sup>), zaś największe w wodach gruntowych na wierzchowinie (28,000 mg · dm<sup>-3</sup>). Występowanie bardzo wysokich stężeń N-NO<sub>3</sub> w wodzie gruntowej na wierzchowinie wynikało z dużej ruchliwości tej formy azotu w profilu glebowym oraz z ograniczonej dostępności wody dla wierzby krzewiastej, na co wpływał głęboko położony poziom zwierciadła wód – średnio 372 cm p.p.t. (sezon wegetacyjny) i 334 cm p.p.t. (sezon pozawegetacyjny). Stwierdzone stosunkowo wysokie stężenia N-NO<sub>3</sub> występujące lokalnie (pod wzniesieniami) w wodach gruntowych zasadniczo nie powinny negatywnie wpływać na środowisko, ponieważ zarówno spływ powierzchniowy, jak i odpływ gruntowy wód jest ukierunkowany od wzniesienia ku obniżeniu, gdzie rośliny wierzby ze względu na dobrą dostępność wody z powodzeniem go pobierają.

Analizując wpływ uprawy wierzby energetycznej na jakość wód gruntowych pod kątem zanieczyszczenia wód N-NO<sub>3</sub> w odniesieniu do obiektów porównawczych (grunty orne oraz las), należy wskazać, że średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> w wodach gruntowych znajdujących się w zasięgu korzeni wierzby (obniżenie terenu) była zdecydowanie mniejsza w stosunku do wód pod gruntami ornymi (3,418 mg · dm<sup>-3</sup>) oraz okresowo nieco większa (szczególnie w płytszych wodach gruntowych, nr 3) niż pod lasem.

Stężenie azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>), będącego produktem przemian zachodzących w glebie, wykazywało znacznie mniejsze zróżnicowanie (szczególnie w okresie zimowym) w porównaniu do N-NO<sub>2</sub> i N-NO<sub>4</sub> (tab. 4).

Tabela 4  
Dynamika stężenia N-NH<sub>4</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w wodach gruntowych w latach 2011–2012 w zależności od sposobu użytkowania terenu

Nr	Półrocze letnie			Półrocze zimowe			Średnia
	min-max	średnia	V [%]	min-max	średnia	V [%]	
<b>Plantacja wierzby</b>							
1	0,038–0,103	0,063	37	0,043–0,085	0,061	29	0,062
2	0,027–0,296	0,082	86	0,033–0,239	0,086	74	0,084
3	0,033–0,162	0,095	46	0,020–0,244	0,075	78	0,085
4	0,069–0,409	0,150	87	0,044–0,116	0,073	35	0,108
<b>Grunty orne</b>							
5	0,005–0,087	0,052	48	0,016–0,208	0,088	63	0,072
<b>Las</b>							
6	0,043–0,385	0,152	86	0,038–0,163	0,100	62	0,137
7	0,049–0,094	0,065	22	0,005–0,163	0,069	64	0,067

Objaśnienia: Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

Pomiędzy analizowanymi formami zagospodarowania terenu zróżnicowanie stężeń  $\text{N-NH}_4$  w wodach gruntowych było znacznie mniejsze. Zauważono jednak stosunkowo duże różnice jego stężeń w wodach pod plantacją wierzby. Najmniejsze stężenie w półroczu letnim ( $0,027 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) wystąpiło na stoku, zaś największe ( $0,409 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) w obniżeniu terenu, co związane było z lepszymi warunkami do gromadzenia materii organicznej (intensywniejszy rozwój roślin) i jej dopływem z wodami gruntowymi zgodnie ze spadkiem terenu. W półroczu zimowym najmniejsze i największe stężenia  $\text{N-NH}_4$  wystąpiły w płycej położonych wodach gruntowych w obniżeniu terenu (nr 3). Mogło to być spowodowane nagromadzeniem znacznej ilości substancji organicznej (korzystne warunki uwilgotnienia gleby), a następnie skutek jej mineralizacji migracją  $\text{N-NH}_4$  do płytko położonych wód gruntowych.

Pod względem zagospodarowania terenu wody gruntowe pod plantacją wierzby, szczególnie w półroczu zimowym, wykazywały mniejsze zanieczyszczenie  $\text{N-NH}_4$  (średnio od  $0,061$  do  $0,086 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) w porównaniu do gruntów ornych (średnio  $0,088 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) oraz terenów leśnych (średnio od  $0,069$  do  $0,100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), natomiast w okresie letnim były one bardziej zanieczyszczone (średnio od  $0,063$  do  $0,150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) niż pod gruntami ornymi (średnio  $0,052 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Mniejsze obciążenie  $\text{N-NH}_4$  wód gruntowych pod plantacją wierzby niż pod gruntami ornymi w okresie zimowym zapewne wynikało z dłuższego okresu pobierania azotu oraz braku uprawy płuźnej przyspieszającej mineralizację substancji organicznych na gruntach ornymi.

Zawartość fosforu ogólnego w wodach gruntowych była również uzależniona od zmienności sezonowej opadów atmosferycznych oraz od ukształtowania i sposobu zagospodarowania terenu, choć podlegała znacznie mniejszej zmienności niż omówione wcześniej mineralne formy azotu, co wynikało z jego mniejszej ruchliwości w środowisku glebowym (tab. 5).

Największą dynamikę stężeń fosforu w wodach gruntowych obserwowano na plantacji wierzby krzewiastej – od  $0,0090 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  na stoku w półroczu zimowym do  $0,810 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  w płycej położonych wodach w obniżeniu terenu (nr 3). Zasadniczo na plantacji wierzby bardziej obciążone fosforem wody gruntowe w okresie letnim występowały w obniżeniu terenu, natomiast w okresie zimowym na wierzcholinie i stoku. Jednak na uwagę zasługuje fakt, że w wodach gruntowych pod plantacją wierzby i pod gruntami ornymi stężenia fosforu osiągały przeciętnie zbliżony poziom, a jednocześnie były mniej obciążone związkami fosforu w porównaniu do wód gruntowych pod lasem.

Dynamika stężeń fosforanów w wodach gruntowych była zbliżona do zmienności stężeń fosforu ogólnego. Jednak zdecydowanie większe ich zawartości w wodach odnotowano w półroczu letnim (poza obniżeniem terenu w lesie) niż w okresie zimowym. W omawianych wodach gruntowych pod plantacją wierzby stężenie fosforanów wahało się od  $0,0003 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  na stoku



Tabela 5  
Dynamika stężenia fosforu ogólnego [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^3$ ] w wodach gruntowych w latach 2011–2012 w zależności od sposobu użytkowania terenu

Nr	Półrocze letnie			Półrocze zimowe			Średnia
	min-max	średnia	V [%]	min-max	średnia	V [%]	
<b>Plantacja wierzby</b>							
1	0,150–0,620	0,253	57	0,143–0,396	0,306	38	0,268
2	0,037–0,299	0,133	53	0,009–0,410	0,149	76	0,141
3	0,109–0,810	0,317	63	0,040–0,597	0,267	67	0,292
4	0,093–0,324	0,202	42	0,091–0,262	0,152	40	0,177
<b>Grunty orne</b>							
5	0,037–0,810	0,226	54	0,009–0,597	0,219	55	0,219
<b>Las</b>							
6	0,224–0,481	0,301	31	0,350–0,596	0,47	26	0,350
7	0,191–0,627	0,351	35	0,042–1,639	0,481	99	0,410

Objaśnienia: Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las-wierzchowina; 7 – las-obniżenie

do  $0,0448 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  na wierzchowinie (tab. 6). W obydwu półroczach zdecydowanie największe stężenia fosforu fosforanowego były w wodach gruntowych w obniżeniu terenu pod lasem. Wykazano również, że w wodach gruntowych pod plantacją wierzby stężenia fosforu fosforanowego były znacznie większe (szczególnie w okresie letnim) niż pod gruntami ornymi i wzniesieniem terenu w lesie.

Tabela 6  
Dynamika stężenia fosforanów [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^3$ ] w wodach gruntowych w latach 2011–2012 w zależności od sposobu użytkowania terenu

Nr	Półrocze letnie			Półrocze zimowe			Średnia
	min-max	średnia	V [%]	min-max	średnia	V [%]	
<b>Plantacja wierzby</b>							
1	0,026–0,448	0,157	83	0,038–0,064	0,052	20	0,129
2	0,022–0,128	0,051	63	0,0003–0,078	0,031	71	0,041
3	0,032–0,169	0,097	44	0,008–0,132	0,053	67	0,075
4	0,028–0,225	0,103	63	0,030–0,223	0,084	77	0,093
<b>Grunty orne</b>							
5	0,011–0,087	0,045	54	0,012–0,104	0,041	72	0,043
<b>Las</b>							
6	0,011–0,087	0,045	54	0,012–0,104	0,041	72	0,043
7	0,019–0,169	0,105	47	0,135–0,198	0,167	19	0,122

Objaśnienia: Plantacja wierzby: 1 – wierzchowina; 2 – stok; 3 i 4 – obniżenie terenu. Obiekty porównawcze: 5 – grunt orny; 6 – las wierzchowina; 7 – las obniżenie

Na terenach wiejskich na jakość wód podziemnych, a zwłaszcza wód gruntowych znaczący wpływ wywiera rolnictwo ze względu na ich płytkie położenie i brak izolacji przed przenikaniem zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W tym przypadku głównym zagrożeniem jest zanieczyszczenie wód składnikami nawozowymi (NPK), które często są niecałkowicie wykorzystywane przez rośliny (Czajkowska 2010; Szymczyk 2010b). Największe zagrożenia stanowią składniki (bądź ich formy) łatwo rozpuszczalne w wodzie. W przypadku najważniejszych biogenów (N i P) są to najczęściej N-NO<sub>3</sub> oraz fosforany. Zasadniczo większe stężenia N-NO<sub>3</sub> występują w płytko położonych wodach gruntowych, które znajdują się pod terenami intensywnie użytkowanymi rolniczo (grunty orne) oraz w zasięgu oddziaływania zabudowań gospodarskich. Nawet jeżeli w ciągu roku ilość azotu przedostającego się do wód gruntowych jest stosunkowo niewielka, to długi okres zanieczyszczania (wieloletnie stosowanie intensywnego nawożenia azotem) powoduje sukcesywne zwiększanie się jego zawartości w wodzie gruntowej.

Zrównoważenie gospodarki azotem w obrębie całego gospodarstwa, czyli ściśle ilości stosowanego azotu, jak też uporządkowanie gospodarki nawozowej oraz ściekowej na terenie zabudowań gospodarskich będzie powodowało sukcesywną poprawę jakości wód gruntowych (Hill 1996; Sapek 2010; Szymczyk 2010b). W odróżnieniu od nawozów mineralnych wody opadowe zawierają składniki już rozpuszczone, co może ułatwić ich migrację w profilu glebowym. Dlatego intensywne opady atmosferyczne powodują przyspieszenie migracji azotu z gleb do wód gruntowych, a pośrednio do wód powierzchniowych (Szymczyk 2010c). Największe współdziałanie między wodami opadowymi, podziemnymi i powierzchniowymi zachodzi w obrębie strefy areacji, w której następuje najintensywniejsza aktywność procesów fizykochemicznych zachodzących między roztworem glebowym a środowiskiem skalnym (Małecki 1998).

Zróznicowanie składu chemicznego wód gruntowych na terenach falistych jest ściśle związane z lokalizacją w rzeźbie terenu. Decydującą rolę odgrywa tu zróżnicowanie geochemii materiału macierzystego gleb, która może być nieco odmienna na wzniesieniu, stoku czy obniżeniu terenu (Kozłowski, Komisarek 2012).

Intensywność przemieszczania azotu w profilu glebowym jest również ściśle powiązana ze sposobem zagospodarowania terenu. Średnioroczny odpływ azotu spod uprawy roślin zbożowych wynosi do 69 kg · ha<sup>-1</sup>, spod intensywnie użytkowanych użytków zielonych ok. 17 kg · ha<sup>-1</sup>, a spod pastwisk 10 kg · ha<sup>-1</sup>, zaś z terenów zalesionych od 0 do 16 kg · ha<sup>-1</sup> (Mortensen i in. 1998). Ilość azotu uwalnianego w procesie mineralizacji zależy od sposobu użytkowania i właściwości gleb (odczyn i poziom uwilgotnienia), rodzaju i wielkości nawożenia oraz przebiegu warunków meteorologicznych. Zaprze-

stanie produkcji rolniczej (odłogowanie bądź ugorowanie gleb) nie zatrzymuje obiegu składników w środowisku. Nawet zaniechanie użytkowania i nawożenia terenów łąkowych powoduje nagromadzenie się w wodach gruntowych azotu, zwłaszcza N-NH<sub>4</sub>, co w warunkach sprzyjających nityfikacji może być przyczyną kumulacji w nich azotanów (Sapek i Kalińska 2004). Fizykochemiczną degradację gleb, przyczyniającą się do zanieczyszczenia wód gruntowych, może powodować zarówno niewłaściwe użytkowanie, jak i nieuregulowanie w nich stosunków powietrzno-wodnych. Szczególnie wrażliwe są gleby torfowo-murszowe, z których oprócz azotu mogą być uwalniane duże ilości fosforu (Urbaniak, Sapek 2004).

Przy corocznym zbiorze wierzby wiciowej na glebach ciężkich można uzyskać plon rzędu  $14,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , na średnich –  $12,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , zaś na lekkich –  $14,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Natomiast przy trzyletnim cyklu zbioru, w porównaniu do sumy z trzech lat, plony wierzby mogą być o 21–28% większe (Kuś, Matyka 2010). W warunkach dobrej dostępności wody dla roślin wysokie plony wierzby można uzyskać również na glebie lekkiej, jeżeli głębokość położenia wód gruntowych nie przekracza 200–250 cm (Kuś, Matyka 2010). Oczywiście przy wyższych poziomach wód gruntowych (Jurczuk i in. 2010) bądź też po zastosowaniu nawodnień (Podlaski 2009) można uzyskać znacznie lepsze efekty produkcyjne.

O wielkości i intensywności przemieszczania składników w glebie decyduje sposób i intensywność zagospodarowania terenu. Dotyczy to w szczególności składników nawozowych (NPK), głównie związków azotu i fosforu (Sapek 2010; Szymczyk 2010c). Przykładowo w porównaniu z uprawami pszenicy, jęczmienia oraz rzepaku znacznie mniejsze (nawet do 50%) straty azotu z gleby występują na plantacjach topoli i wierzby (Hall 2003).

## 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dynamika zmienności stanów i jakości wód gruntowych na plantacji wierzby była uzależniona od warunków meteorologicznych (opady i temperatura) i ukształtowania terenu (wierzchowina, stok, obniżenie terenu), determinujących dostępność wody dla roślin (poziom położenia wód gruntowych) oraz bioakumulacji składników pokarmowych. Ze względu na najlepsze warunki wilgotnościowe, umożliwiające najintensywniejszy wzrost i rozwój wierzby, najmniejsze obciążenie wód gruntowych składnikami biogennymi występowało w obniżeniu terenu. Było ono zasadniczo mniejsze niż na sąsiednich gruntach ornych, na których warunki dostępności wody dla roślin były zbliżone. Stwierdzono również, że w porównaniu do gruntów ornych, a także lasu, pod plantacją wierzby jakość

wód gruntowych była lepsza. Wskazuje to, że uprawa wierzby na cele energetyczne może przyczynić się ochrony i poprawy jakości wód gruntowych na terenach użytkowanych rolniczo.

## Piśmiennictwo

- Chan H.J. 2001. *Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea*. Journal of Hydrology, 253: 194–210.
- Czajkowska A. 2010. *Stopień zanieczyszczenia związków biogenych płytkich wód podziemnych w zagospodarowanej rolniczo części zlewni Biedrawki*. Górnictwo i Geologia, 5(4): 91–103.
- D'Agostino V., Greene E.A., Passarella G., Vurro M. 1998. *Spatial and temporal study of nitrate concentration*. Environmental Geology, 36(3–4): 285–295.
- Dubas J. 2003. *Uprawa wierzby na cele energetyki ciepłej*. Czysta Energia. ABRYS Sp. z o.o., Wydawnictwa Komunalne, 1: 12–13.
- Grzybek A. 2004. *Prognoza wykorzystania odnawialnych źródeł energii w sektorze rolnym na tle przemian*. W: Lewandowski P., Nowak W. (red.). *Rozwój energii odnawialnej na Pomorzu Zachodnim*, Koszalin: 211–218.
- Hall R.C. 2003. *Grasses for energy production hydrological guidelines*. Online: <www.berr.gov.uk/files/file14946.pdf>.
- Hill A.R. 1996. *Nitrate removal in stream riparian zones*. J. Environ. Qual, 25: 743–755.
- Jadczyzyn J. 2006. *Lokalizacja przestrzenna plantacji*. W: Cichanowicz W., Szukowski S. (red.). *Paliwo i energie XXI wieku*. WSliZ. Oficyna Wydawnictwa WIT, Warszawa: 218–230.
- Jurczuk S., Chrzanowski S., Jaszczynski J. 2010. *Plonowanie wierzby energetycznej w różnych warunkach glebowo-wodnych*. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2: 113–121.
- Kozłowski M., Komisarek J. 2012. *Specjacja wybranych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych układu katenalnego na Pojezierzu Poznańskim*. Annual Set Environmental Protection – Roczniki Ochrony Środowiska, 14: 607–622.
- Kuś J., Matyka M. 2010. *Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych*. Problemy Inżynierii Rolniczej, 3: 59–65.
- Małecki J. 1998. *Rola strefy areacji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 381: 1–219.
- Michalska G. 2001. *Zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód podziemnych w zlewni Chwalińskiego Potoku (Górna Parsęta, Pomorze Zachodnie)*, Biblioteka Monitoringu Irodowiska: 305–320.
- Mortensen J., Nielsen K.H., Jorgensen U. 1998. *Nitrate leaching during establishment of willow (Salix viminalis) on two soils types and at two fertilization levels*. Biomass and Bioenergy, 15: 457–466.
- Pierzgalski E., Jeznach J. 2006. *Measures for soil water control in Poland*. Journal of Water and Land Development, 10: 79–89.
- Podlaski S., Chotuj D., Wiśniewski G. 2009. *Kryteria wyboru roślin energetycznych do uprawy w okresowych warunkach przyrodniczych*. Wieś Jutra, 8–9: 15–17.
- Sapek A. 2010. *Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody, zwłaszcza wody w Bałtyku*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 10, 1(29): 175–200.
- Sapek B., Kalińska D. 2004. *Mineralizacja organicznych związków azotu w świetle długotrwałych doświadczeń tłąkowych*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 4(1): 183–200.
- Styszko L., Fiałkowska D., Sztyma M., Ignatowicz M. 2010. *Wpływ warunków uprawy na pozyskiwanie biomasy wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu*. Rocznik Ochrony Środowiska, 12: 575–586.
- Szymczyk S. 2010a. *Nitrogen dynamics in ground water of fallowed soil recovered for agricultural production*. Ecol. Chem. Eng., A, 17(4–5): 499–507.

- Szymczyk S. 2010b. *Influence of the type of soil dewatering and land use on the dynamics of concentrations and volume of nitrogen discharged from agricultural areas*. J. Elementol., 15(1): 189–211.
- Szymczyk S. 2010c. *Seasonal variation in the concentrations and loads of mineral nitrogen compounds in atmospheric precipitation in the vicinity of Olsztyn (Ne Poland)*. Ecological Chemistry and Engineering A, 17(2–3): 233–247.
- Świtajaska I., Szymczyk S., Potasznik A., Banaszek Ż. 2013. *Wpływ uprawy wierzby na cele energetyczne na jakość wód gruntowych*. Episteme, 18(3): 249–258.
- Urbaniak M., Sapek B. 2004. *Zmiany we frakcjach fosforu w glebie torfowo-murszowej w zależności od poziomu wody gruntowej*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 4(11): 493–502.
- Wierzbicka J. 2010. *Pomysł na biznes – rośliny energetyczne jako szansa rozwoju regionu*. Studia i Materiały. Miscellanea Oeconomicae, 14(2): 189–197.



## ROZDZIAŁ 5

### **Środowiskowa ocena cyklu życia otrzymywania bioetanolu z surowców lignocelulozowych**

### **Environmental life cycle assessment of bioethanol production from lignocellulosic substrates**

***Izabela Samson-Bręk, Barbara Smerkowska***

Zakład Odnawialnych Zasobów Energii, Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Słowa kluczowe: bioetanol, surowiec lignocelulozowy, kukurydza, żyto, LCA, emisje GHG.

Key words: bioethanol, lignocellulosic substrate, maize, rye, LCA, GHG emission.

#### Streszczenie

Środowiskowa ocena cyklu życia LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) pozostaje w Polsce wciąż jeszcze stosunkowo nową metodą szacowania wpływu procesów produkcyjnych na środowisko. Umożliwia ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii czy odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Zastosowanie metody LCA pozwala także na kalkulację emisji gazów cieplarnianych zgodnie z zapisami Dyrektywy 2009/28/WE w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych.

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki uproszczonej analizy cyklu życia LCA technologii produkcji bioetanolu II generacji z uwzględnieniem kalkulacji emisji gazów cieplarnianych. Jako surowiec wykorzystano rośliny energetyczne: wierzbę wiciową, robinie akacjową i topolę energetyczną. Ponadto dokonano porównania wpływu na środowisko upraw energetycznych (surowiec do produkcji bioetanolu II generacji) z uprawą kukurydzy i żyta (surowiec do produkcji bioetanolu I generacji) oraz porównania technologii produkcji bioetanolu I i II generacji. Następnie określono poziom redukcji gazów cieplarnianych i odniesiono otrzymane wartości do wymagań Dyrektywy 2009/28/WE.

#### Summary

Environmental life cycle assessment (LCA – Life Cycle Assessment) in Poland is still a relatively new method of estimating the environmental impact of production processes. It enables the assessment of the environmental risks associated with the product system or activity, either through the identification and quantification of materials and energy used and waste introduced into the environment, as well as assess their impact on the environment. LCA method application also enables the calculation of greenhouse gas emissions in accordance with Directive 2009/28/EC on the promotion of energy from renewable sources.

In this publication the results of simplified life cycle assessment analysis for second generation bioethanol from lignocellulosic material production was presented. Three energy crops were used as a raw material: willow, poplar and black locust. The analysis of environmental impact of energy crops (used as a raw material for 2nd generation bioethanol production) cultivation in comparison with maize and rye (used as a raw material for 1st generation bioethanol production) cultivation was provided. Additionally the calculation of greenhouse gases emissions was performed and subsequently compared to the requirements of the Directive 2009/28/EC.

## 1. Wstęp

Ocena cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment* – LCA) to „technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii oraz odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Ocena dotyczy całego okresu życia wyrobu lub działania, począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, procesu produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu. LCA ukierunkowuje badanie wpływu na środowisko systemu wyrobu w obszar ekosystemu, zdrowia ludzkiego oraz zużytych zasobów” (Fava 1991).

W Polsce LCA jest wciąż stosunkowo nową metodą zarządzania środowiskowego, stosowaną głównie w celach badawczych i rozwijaną w ośrodkach naukowych. W świetle zobowiązań unijnych, dotyczących minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko przemysłu paliwowego, metoda LCA jest użytecznym narzędziem. Może ona obejmować cały cykl życia paliwa: od momentu pozyskania surowców poprzez jego wytworzenie, użytkowanie oraz procedury postępowania z paliwami niespełniającymi wymagań norm przedmiotowych (Samson-Bręk 2012).

Zastosowanie metody LCA w sektorze paliw pozwala na uświadomienie i wskazanie współzależności między działalnością ludzką a jej konsekwencjami dla środowiska naturalnego. Stanowi również ważne źródło informacji w trakcie podejmowania decyzji mających na celu zminimalizowanie negatywnego wpływu technologii produkcji paliw na środowisko.

## 2. Cel i zakres analizy

Niniejsza publikacja stanowi podsumowanie badań oceny cyklu życia i kalkulacji gazów cieplarnianych dla technologii produkcji bioetanolu II generacji stosowanego jako paliwo transportowe bazujące na surowcach lignocelulozowych. Prace prowadzone były w ramach projektu strategicznego finansowanego przez NCBiR pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, zadanie badawcze 4: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”. Dane wejściowe do analizy pochodziły z badań własnych, partnerów projektu oraz szacunków eksperckich i fachowej literatury tematu.

Celem badań była uproszczona ocena cyklu życia technologii produkcji bioetanolu II generacji otrzymywanego z surowca lignocelulozowego. Wyodręb-



niono dwa główne etapy produkcyjne: rolniczy (związany z produkcją biomasy lignocelulozowej) oraz technologiczny (związany z produkcją bioetanolu w biorafinerii).

## 2.1. Etap rolniczy

W ramach etapu pierwszego analizą LCA objęta została produkcja trzech roślin energetycznych: wierzby, topoli i robinii akacjowej. Przyjęto 4-letni cykl zbioru oraz 20-letni okres użytkowania plantacji dla wszystkich wspomnianych roślin. W przypadku wierzby i topoli do obliczeń przyjęto plon wynoszący 6 t s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, zaś dla robinii – 5 t s.m. ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. W obliczeniach uwzględniono zabiegi związane z założeniem plantacji, nawożeniem, stosowaniem środków ochrony roślin, zbiorem plonu i likwidacją plantacji, jak również transportem surowca do biorafinerii.

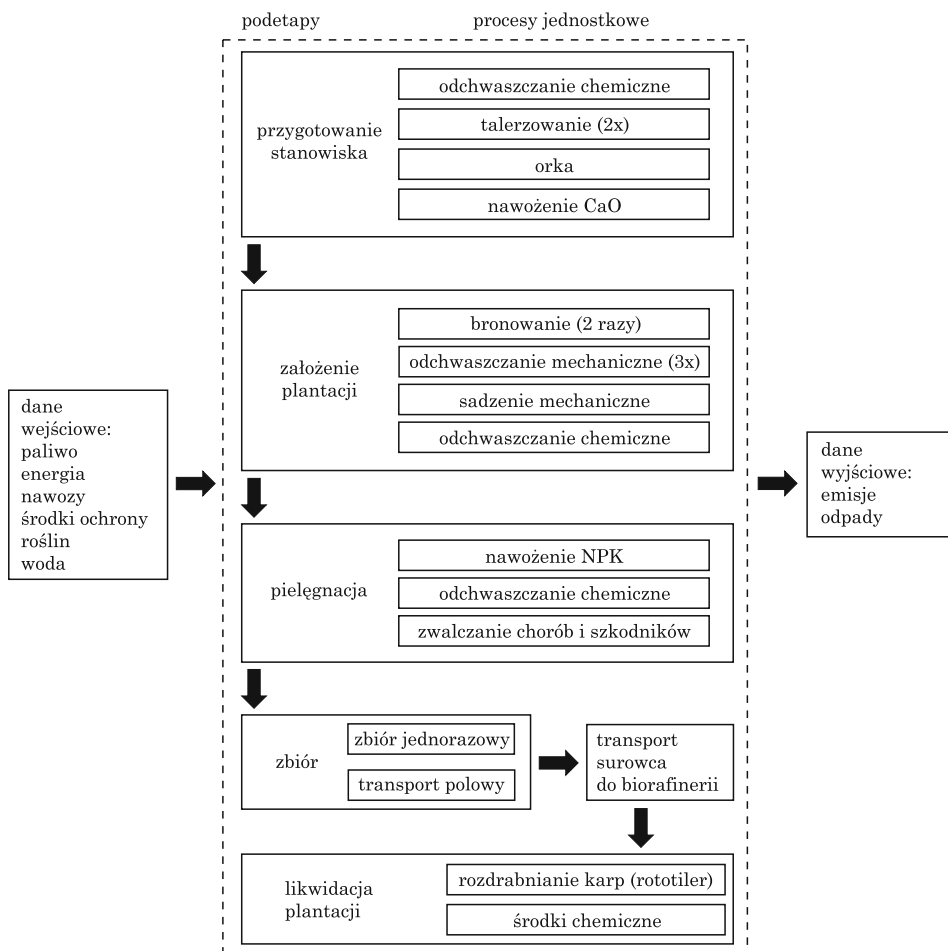
W przypadku transportu uwzględniono następujące procesy jednostkowe:

- transport surowca ciągnikiem rolniczym do magazynu zbiorczego na odległość 15 km (w obie strony łącznie 30 km),
- transport surowca z magazynu zbiorczego do biorafinerii ciągnikiem siodłowym z naczepą na odległość 50 km (w obie strony łącznie 100 km).

Szczegółową listę procesów jednostkowych wchodzących w zakres etapu rolniczego przedstawiono na rysunku 1.

Jednostką funkcjonalną dla tego etapu jest 1 tona suchej masy (1 t s. m.). Jednostka taka umożliwiła przeprowadzenie ocen porównawczych cyklu życia dla poszczególnych roślin energetycznych, jak również porównanie z cyklem życia uprawy kukurydzy i żyta, stanowiących substraty do produkcji bioetanolu I generacji.

W celu określenia akumulacji pierwiastka węgla w glebie przez uprawy wieloletnie wykorzystano dane przywołane przez Brandao i in. (2011). Na podstawie powyższego przyjęto średnioroczną akumulację C w glebie na poziomie 14,21 kg C ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> w przeliczeniu na 1 t s.m. Ustalono średnioroczną akumulację węgla organicznego C w glebie na poziomie 0,085 t C ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> dla wierzby i topoli oraz 0,071 t C ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> dla robinii akacjowej. W przypadku upraw roślin jednorocznych – kukurydzy i żyta – oparto się na wynikach Brandao i in. (2011) dotyczących rzepaku. Prowadzenie upraw roślin jednorocznych powoduje uwalnianie węgla z gleby, jednak poprzez przyoranie resztek poźniwnych możliwa jest poprawa wiązania węgla w glebie. Dla rzepaku straty węgla z gleby związane z uprawą oszacowano na poziomie 0,40 t C ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>, przy czym przyoranie słomy zmniejsza tę wartość do poziomu 0,24 t C ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (Brandao i in. 2011).



Rys. 1. Granice systemu oraz procesy jednostkowe dla etapu produkcji biomasy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (partner projektu)

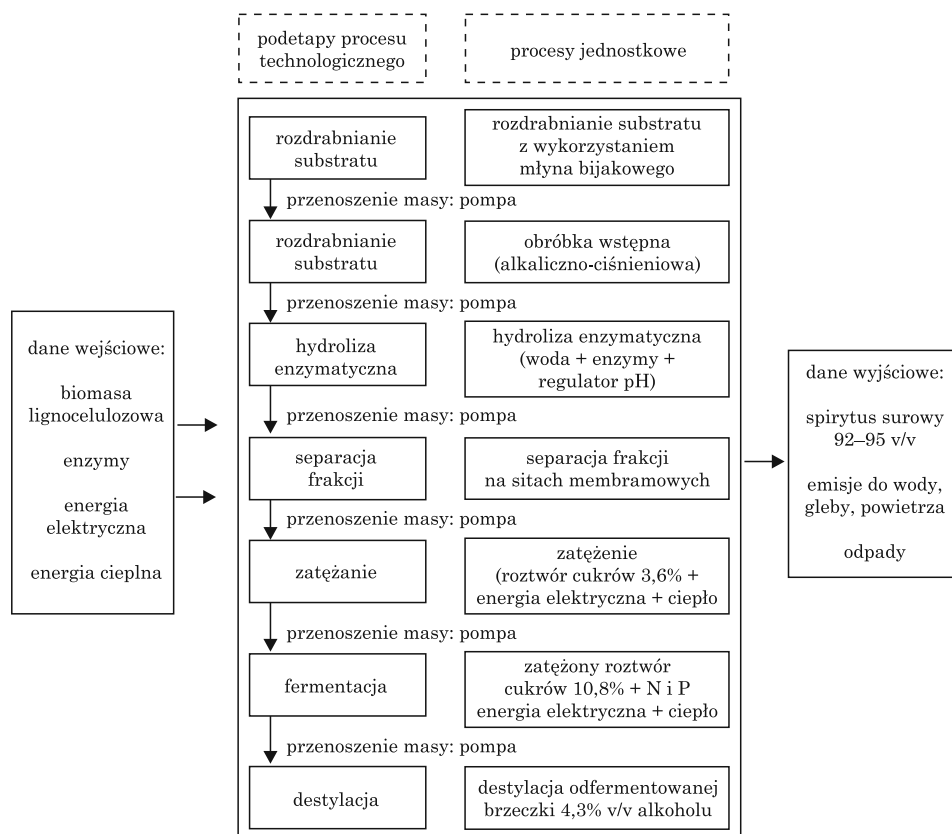
W niniejszym opracowaniu przyjęto założenie, że zarówno dla kukurydzy, jak i żyta słoma jest przyorywana po zbiorze ziarna. Mając na uwadze plon ziarna kukurydzy na poziomie  $8,5 \text{ t ha}^{-1}$  oraz stosunek masy słomy do ziarna 1:1, oszacowano sekwestrację węgla w glebie na poziomie  $0,07 \text{ t C ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ . Dla żyta ilość słomy jest mniejsza, ponieważ niższy jest plon –  $4 \text{ t ha}^{-1}$ , a przyoranie słomy nie rekompensuje strat węgla w glebie spowodowanych uprawą. Dla żyta sekwestracja jest ujemna i kształtuje się na poziomie  $-0,160 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ .

## 2.2. Etap technologiczny

W drugim etapie analiza dotyczyła produkcji bioetanolu w skali laboratoryjnej o zakładanej wydajności 25 l na dobę, zaś jako jednostkę funkcjonalną zdefiniowano 1 GJ bioetanolu.

Zakres analizy obejmował technologię produkcji bioetanolu II generacji z surowca lignocelulozowego wraz ze zdefiniowanymi procesami jednostkowymi (rys. 2):

- rozdrabnianie substratu,
- obróbka wstępna (alkaliczno-ciśnieniowa),
- hydroliza enzymatyczna,
- separacja frakcji,



Rys. 2. Schemat technologii produkcji bioetanolu II generacji z surowca lignocelulozowego wraz z wyszczególnieniem procesów jednostkowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (partner projektu)

- zateżanie,
- fermentacja,
- destylacja.

Ze względu na brak dostępnych danych nie uwzględniono podetapu odwadniania. Spowodowane to było toczącymi się jeszcze w projekcie pracami badawczymi w momencie prowadzenia analiz LCA.

### 3. Metodyka

W analizach wykorzystano jedno z szeroko stosowanych i rozpowszechnionych narzędzi do wykonywania analizy LCA, jakim jest oprogramowanie SimaPro opracowane przez holenderską firmę PRe Consultants.

W programie SimaPro dostępnych jest kilkanaście metod oceny wpływu cyklu życia. Metody te znacznie różnią się między sobą, stąd przy wyborze konieczne jest sprecyzowanie priorytetów dla danej analizy LCA. Wybierając metodę oceny wpływu cyklu życia (LCIA) oraz kategorie wpływu, należy mieć przede wszystkim na uwadze cel i zakres analizy (Kowalski i in. 2001), a ponadto: sposób prezentacji wyników końcowych, sposób nadawania wag poszczególnym kategoriom wpływu, nakreślone ramy czasowe, zasięg geograficzny, stopień dokładności metody oraz uwzględnione kategorie wpływu.

W związku z powyższym po przeanalizowaniu dostępnych w programie SimaPro metod za najbardziej odpowiednią uznano Eco-Indicator 99 (EI-99).

W metodzie tej określone zostały trzy punkty końcowe (Goedkoop i in. 2000; Lindfors 1995), rozumiane jako wyniki oddziaływań ekologicznych na:

- zdrowie ludzkie – wyrażane w jednostce DALY (*Disability Adjusted Life Years*, czyli tzw. całkowita ilość utraconego „zdrowego życia”: od przedwczesnej śmierci do pewnego stopnia kalectwa w danym okresie czasu) używanej przez WHO i Bank Światowy w statystykach zdrowotnych;

- jakość ekosystemu – w kategoriach: *zakwaszenie/ eutrofizacja* i *użytkowanie gruntów* wymiar szkody określa się poprzez frakcję gatunków narażonych na wyginięcie (*Potentially Dissapeard Fraction* – PDF), zaś w kategorii *ekotoksyczność* szkody wyraża się w jednostce  $PAF \times m^2 \times rok$ , oznaczającej udział gatunków obecnych w środowisku żyjących pod działaniem toksycznego stresu;

- zmniejszenie zasobów naturalnych (stosowaną jednostką jest MJ/t).

Kategorie wpływu szczególnie istotne w ocenie wpływu cyklu życia technologii produkcji bioetanolu II generacji z surowca lignocelulozowego zostały wyróżnione w tabeli 1 pogrubioną czcionką.

Tabela 1

Punkty końcowe oraz przyporządkowane im kategorie wpływu oraz wskaźniki w metodzie EI-99

Punkt końcowy	Kategorie wpływu	Wskaźnik
Zdrowie ludzkie	<b>Zmiany klimatu</b> , zubożenie warstwy ozonowej, substancje kancerogenne, <b>substancje działające destruktywnie na układ oddechowy</b> , promieniowanie jonizujące	DALY
Jakość ekosystemu	<b>Zakwaszenie*</b> , <b>eutrofizacja*</b> , <b>zużycie terenu*</b> , ekotoksyczność**	* PDF ** PAF×m <sup>2</sup> ×rok
Zmniejszenie zasobów	Zmniejszenie ilości minerałów oraz <b>paliw stałych możliwych do wydobycia</b>	MJ/t

Źródło: opracowanie własne na podstawie &lt;www.pre.nl/eco-indicator99/&gt;

Emisje gazów cieplarnianych zostały natomiast obliczone z wykorzystaniem kalkulatora BIOGRACE wersja 4. Kalkulator opracowało konsorcjum międzynarodowe w ramach projektu BIOGRACE „Harmonized Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emissions” (www.biograce.net/). Narzędzie to jest zgodne z metodyką szacowania emisji gazów cieplarnianych spowodowanych produkcją i stosowaniem paliw transportowych, biopaliw i biopłynów, określoną w Dyrektywie 2009/28/WE, Załącznik V, część C (Dyrektywa 2009).

Metodyka BIOGRACE nie uwzględnia w obliczeniach sekwestracji C w glebie, jednak w obliczeniach całkowitej emisji z upraw energetycznych uwzględniono także ten element jako istotny z punktu widzenia wyników analizy.

Kalkulator BIOGRACE nie zawiera danych domyślnych dla procesu technologicznego bioetanolu II generacji, gdyż obejmuje jedynie ścieżki produkcji biopaliw I generacji. Dane dostarczone do analizy dotyczyły eksperymentalnych warunków laboratoryjnych, dlatego w odniesieniu do procesu technologicznego skorzystano z informacji zamieszczonych w Załączniku V Dyrektywy 2009/28/WE – ustalono je na poziomie 17 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup> bioetanolu.

W przypadku produkcji bioetanolu z kukurydzy i żyta emisje dla procesu technologicznego również zaczerpnięto z Załącznika V Dyrektywy.

## 4. Wyniki

### 4.1. Etap rolniczy

Spośród trzech analizowanych roślin odnotowano takie same wyniki dla wierzby i topoli ze względu na fakt, że dane wejściowe do analizy (plony i nakłady materiałowo-energetyczne) były dla obu roślin tożsame: nawożenie NPK na poziomie odpowiednio: 90 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup>, 60 kg ha<sup>-1</sup>. Niższe wartości uzyskano dla robinii, co wynika z ograniczenia nawożenia mineral-

nego (brak nawożenia azotowego), braku odchwaszczania chemicznego zarówno na etapie założenia plantacji, jak i jej pielęgnacji oraz związanego z tymi zabiegami niższego zużycia paliwa.

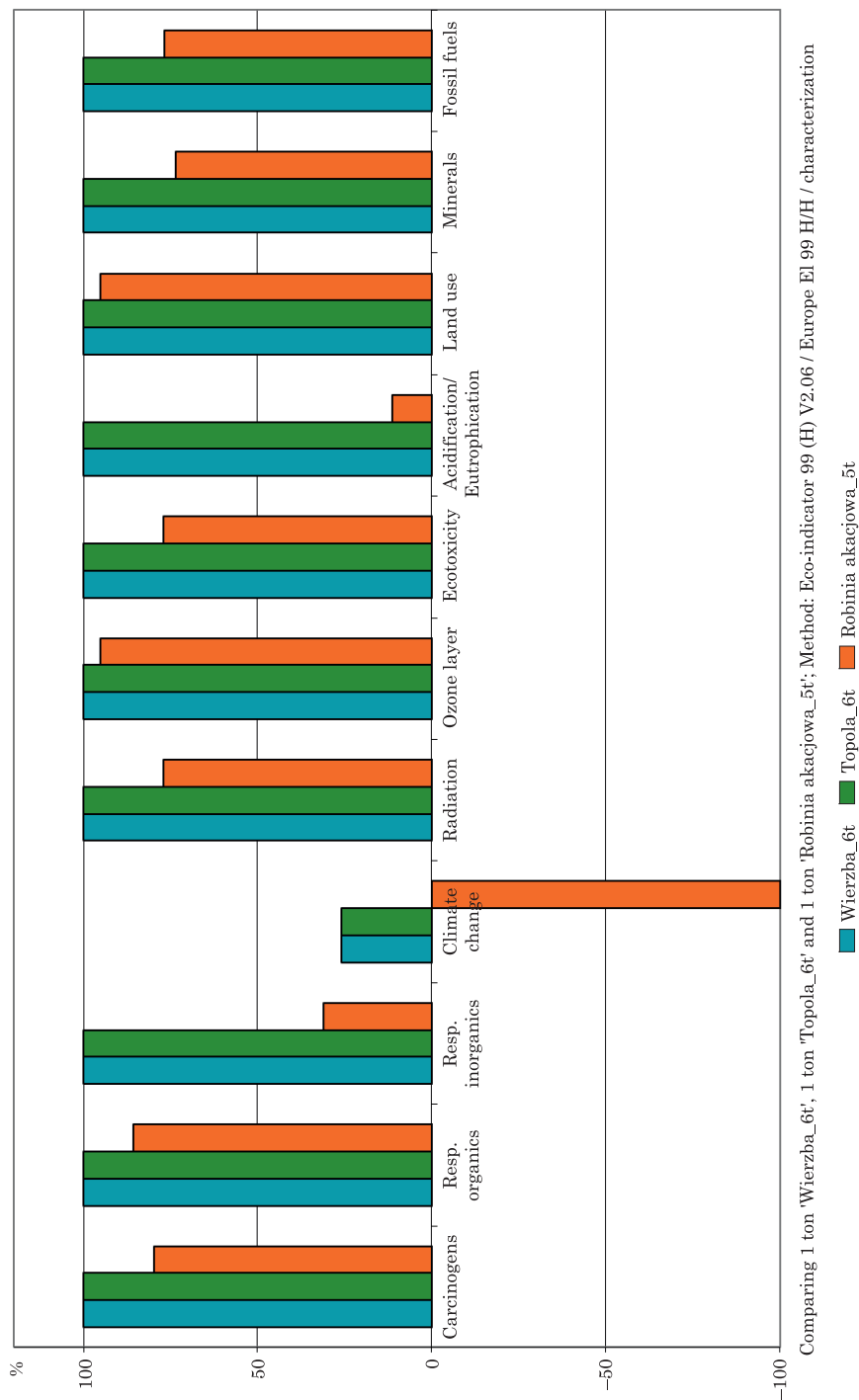
Sekwestracja węgla w glebie w trakcie uprawy roślin wieloletnich ma istotny wpływ na wynik w kategorii *zmiana klimatu*, znacząco go obniżając. Poziomy sekwestracji przyjęte dla poszczególnych roślin podano w tabeli 3. Wynoszą one ok. 52 kg CO<sub>2</sub> eq na tonę s.m. W przypadku robinii akacjowej wynik we wspomnianej kategorii jest ujemny (pozytywny wpływ na tę kategorię), co uwarunkowane jest zarówno sekwestracją węgla w glebie, jak i brakiem nawożenia azotowego oraz mniejszym zużyciem paliwa niż dla pozostałych upraw. Dla wierzby i topoli w tej kategorii uzyskano wartości dodatnie, gdyż sekwestracja CO<sub>2</sub> w glebie nie rekompensuje wyższych emisji GHG.

Na kategorię wpływu *zakwaszenie/eutrofizacja* oraz *zmniejszenie zasobów minerałów* największy wpływ ma produkcja oraz stosowanie nawozów mineralnych oraz środków ochrony roślin (część dawki nawozów i środków ochrony roślin nie jest absorbowana przez rośliny i trafia do wód gruntowych lub też jest wypłukiwana z gleby przez opady atmosferyczne i spływem powierzchniowym trafia do rzek, jezior i mórz, zaś w przypadku nawożenia istotne są również emisje do powietrza). Wpływ uprawy robinii akacjowej na kategorię *eutrofizacja/zakwaszenie* jest około 10-krotnie mniejszy niż dla uprawy wierzby i topoli. Wynika to z braku nawożenia azotowego oraz braku odchwaszczania chemicznego zarówno na etapie założenia plantacji, jak i jej pielęgnacji.

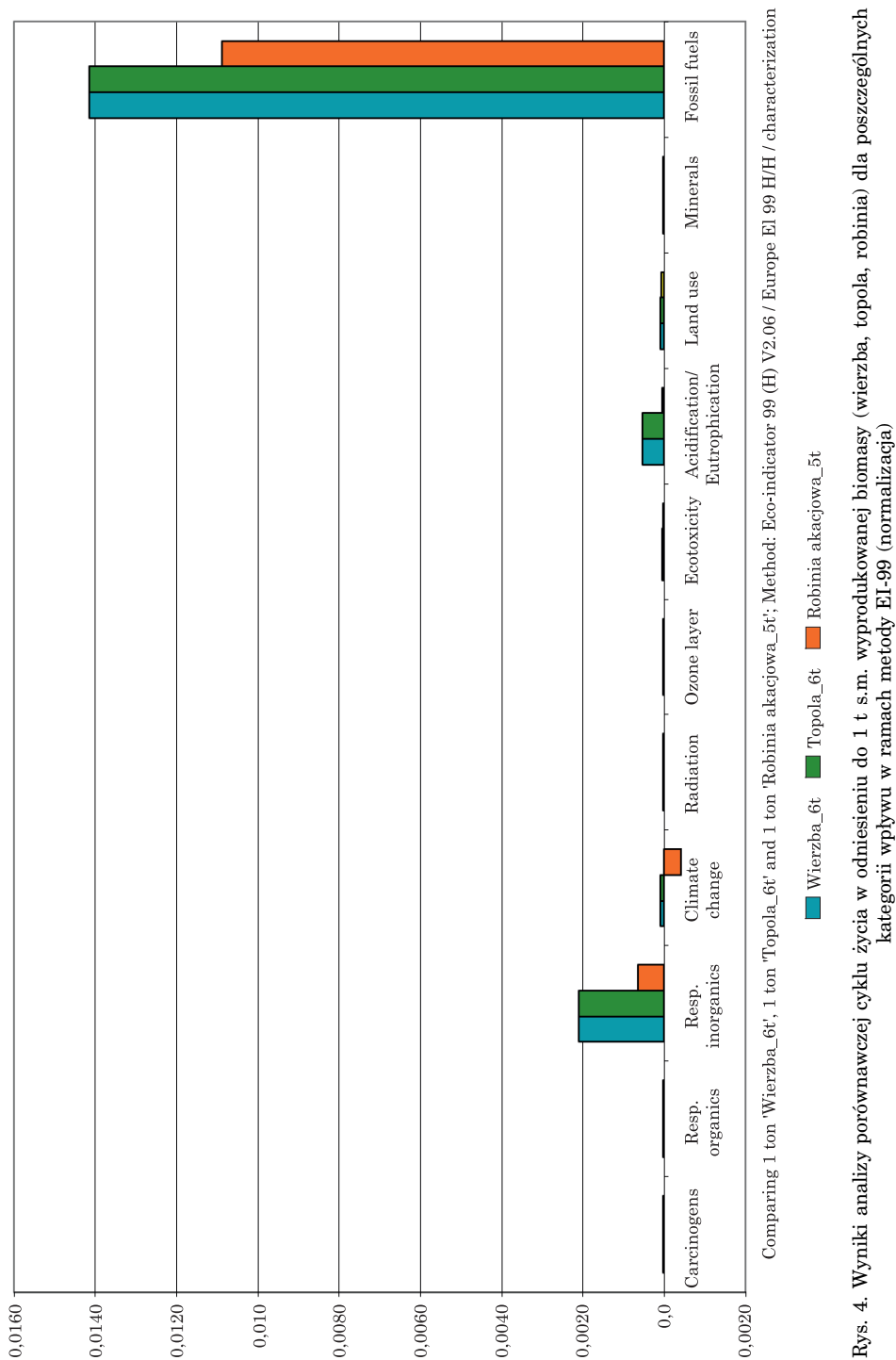
Kategorią, która znacząco oddziałuje na środowisko, jest *zużycie paliw kopalnych*. Wiąże się to z wykorzystaniem oleju napędowego do zasilania maszyn rolniczych na różnych etapach uprawy roślin, począwszy od prac polowych przygotowujących ziemię do uprawy poprzez nasadzenia, zabiegi związane z nawożeniem i stosowaniem środków ochrony roślin po zbiór i w końcu likwidację plantacji, jak również z transportem surowca z pola do biorafinerii. Zmniejszona liczba zabiegów agrotechnicznych w przypadku robinii skutkuje niższym wpływem na środowisko o ok. 20% w tej kategorii.

Kategoria *zubożenie warstwy ozonowej* jest opisywana za pomocą wskaźnika definiowanego jako równoważnik potencjału zmniejszenia warstwy ozonowej w przypadku rozpatrywanej substancji wraz z wielkością zanieczyszczenia, jakie ona powoduje (jej ilość w kg). Wskaźnik ten jest bezpośrednio sprzężony z inną wartością, tzw. ODP (ang. *Ozone Depletion Potential*), która w bezpośrednim tłumaczeniu jest wskaźnikiem zmniejszenia zasobów ozonu stratosferycznego.

Ozon stratosferyczny stanowi bezpośrednią barierę dla promieniowania ultrafioletowego osiągającego powierzchnię Ziemi. Wzrost natężenia promieniowania ultrafioletowego wywołuje szkodliwe skutki dla ludzi, zwierząt oraz roślin. Bardzo duży wpływ na zmniejszenie powłoki ozonowej ma emisja gazów



Rys. 3. Wyniki analizy porównawczej cyklu życia w odniesieniu do 1 t s.m. wyprodukowanej biomasy (wierzba, topola, robinia) dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EI-99 (charakteryzowanie)



Rys. 4. Wyniki analizy porównawczej cyklu życia w odniesieniu do 1 t s.m. wyprodukowanej biomasy (wierzba, topola, robinia) dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EI-99 (normalizacja)



(np. tlenków azotu) przez przemysł i rolnictwo. Energochłonne technologie w rolnictwie oraz częste stosowanie środków wspomagających wzrost roślin uprawnych powoduje w finalnym rozrachunku zubożenie warstwy ozonowej. W tej kategorii wpływ omawianych roślin nie różnił się więcej niż 5%.

Analiza uzyskanych wyników w postaci normalizacji (przeliczenie uzyskanych wartości na przyjęte jednostki – patrz tabela 1) wykazała, iż największy względny wpływ na środowisko naturalne (rys. 4), w przeliczeniu na oddziaływanie na mieszkańca Europy, w przypadku omawianych roślin energetycznych ma kategoria *zużycie paliw kopalnych*. Dla kategorii wpływających na zdrowie ludzkie stosunkowo najwyższy jest udział *substancji wpływających negatywnie na układ oddechowy*. W kategoriach wpływających na jakość ekosystemu zauważalne są *zakwaszenie/eutrofizacja* oraz w mniejszym stopniu *użytkowanie gruntów*. Pozostałe kategorie mają relatywnie bardzo mały wpływ.

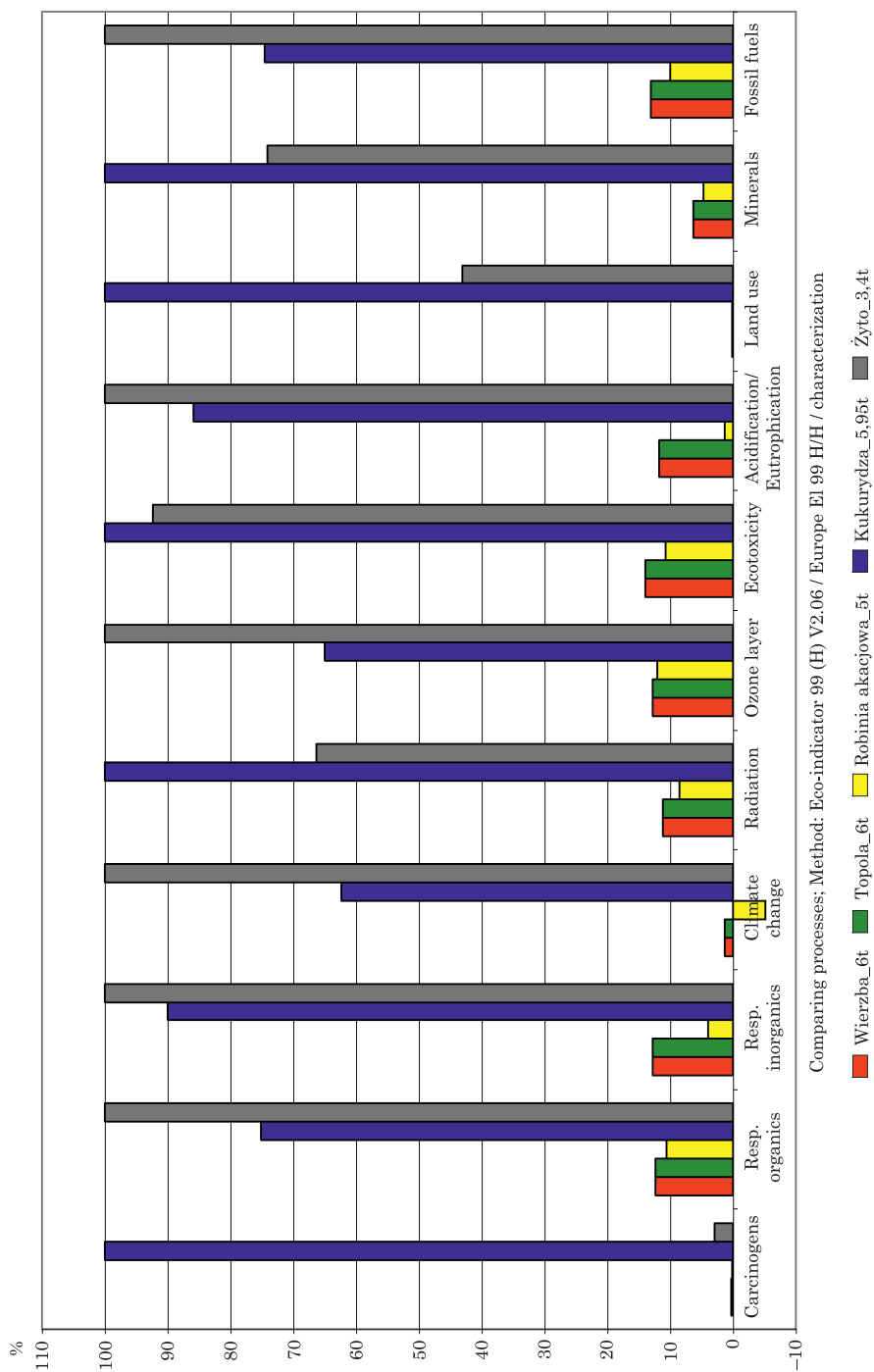
W każdej z omówionych kategorii robinia akacjowa uzyskała wyniki korzystniejsze niż pozostałe rośliny (najkorzystniejsze w kategorii *zmiany klimatu* – co jest związane z sekwestracją węgla w glebie).

## 4.2. Porównanie upraw energetycznych z uprawą kukurydzy i żyta

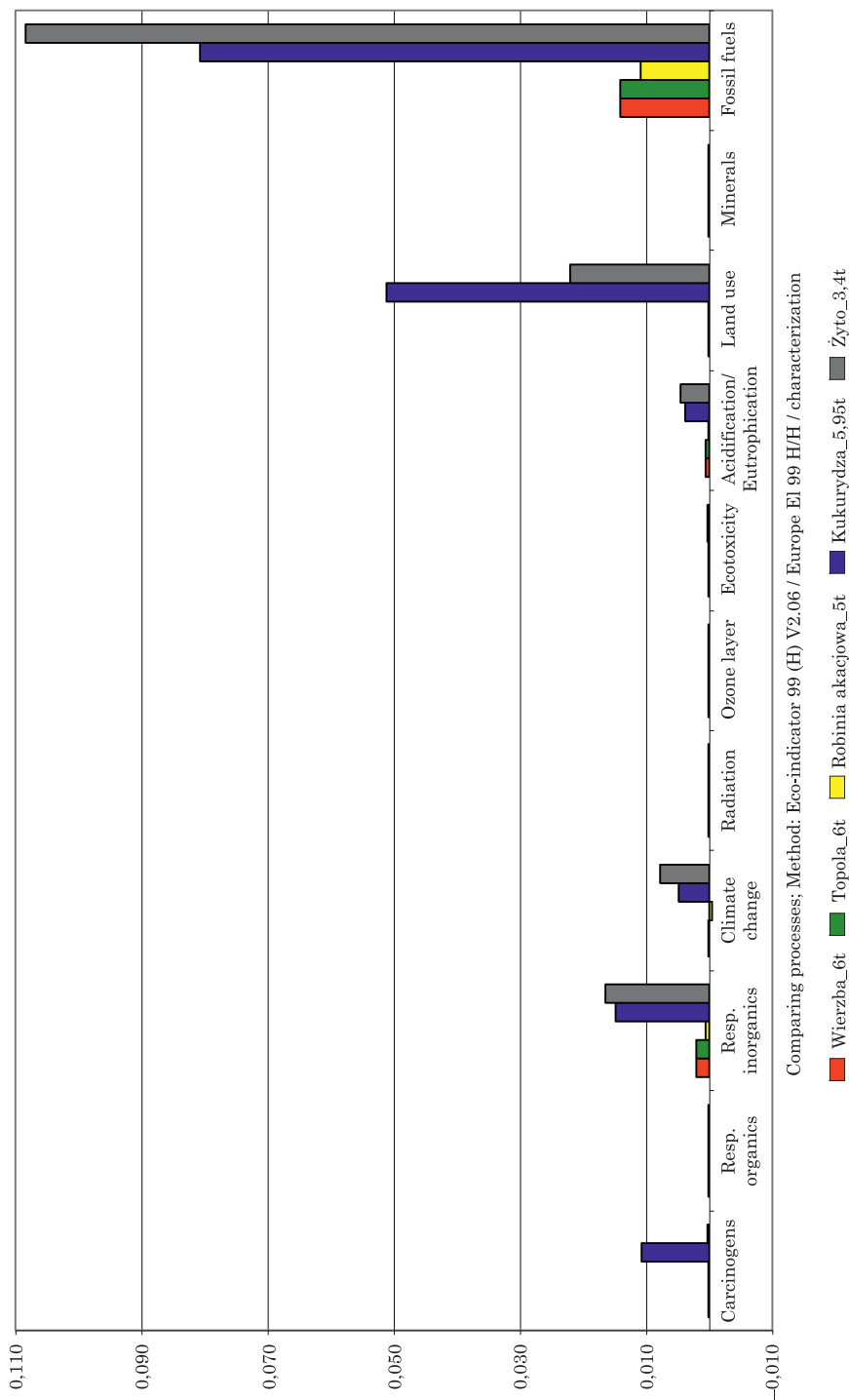
W ramach analizy dokonano porównania wpływu na środowisko omawianych wyżej upraw energetycznych (surowiec do produkcji bioetanolu II generacji) z uprawą kukurydzy i żyta (surowiec do produkcji bioetanolu I generacji), dla których przyjęto plonowanie odpowiednio na poziomie 5,95 t s.m. i 3,4 t s.m. Wyniki analizy przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Przedstawione wyniki wyraźnie ukazują znacznie mniejszy wpływ na środowisko wieloletnich roślin energetycznych (wierzba, topola, robinia) w porównaniu z żytem i kukurydzą (które są roślinami jednorocznymi) w każdej kategorii wpływu (wyniki nie przewyższają 15% wpływu wykazanego dla żyta bądź kukurydzy). Uprawa kukurydzy wykazuje największy wpływ na środowisko (w odniesieniu do pozostałych roślin) w kategoriach: *substancje kancerogenne, promieniowanie jonizujące, ekotoksyczność, użytkowanie gruntów, zmniejszenie ilości minerałów*. W pozostałych kategoriach największy wpływ zanotowano dla żyta.

W kategoriach *użytkowanie gruntów* oraz *zmiany klimatu* wpływ na środowisko roślin wieloletnich utrzymuje się na poziomie 1–2% wpływu zanotowanego w przypadku kukurydzy i żyta. Wysokie wyniki dla kukurydzy i żyta podyktowane są przede wszystkim wysokim nawożeniem azotowym, jak również znacznym zużyciem paliwa związanym z pracami polowymi. Uprawy jednoroczne wymagają co rok przygotowania gleby pod uprawę, siewu i zbioru i z tym związane jest większe obciążenie dla środowiska, co wynika ze



Rys. 5. Wyniki analizy porównawczej cyklu życia produkcji 1 t s.m. wierzby wicowej, topoli energetycznej i robinii akacjowej z produkcją 1 t s.m. kukurydzy i żyta dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EL-99 (charakteryzowanie)



Rys. 6. Wyniki analizy porównawczej cyklu życia produkcji 1 t s.m. wierzby wiciowej, topoli energetycznej i robinii akacjaowej z produkcją 1 t s.m. kukurydzy i żyta dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EI-99 (normalizacja)

zwiększenia nakładów materiałowo-energetycznych w stosunku do roślin wieloletnich.

Przeliczenie uzyskanych wyników na przyjęte jednostki (rys. 6. normalizacja) pokazuje, jak znacząco większy wpływ w wybranych kategoriach (*zużycie paliw kopalnych, użytkowanie gruntów czy substancje wpływające negatywnie na układ oddechowy*) mają uprawy roślin jednorocznych w porównaniu z analizowanymi roślinami wieloletnimi. Wyniki te jednoznacznie wskazują te ostatnie jako znacznie mniej szkodliwe dla środowiska (na etapie uprawy i zbioru) surowce energetyczne.

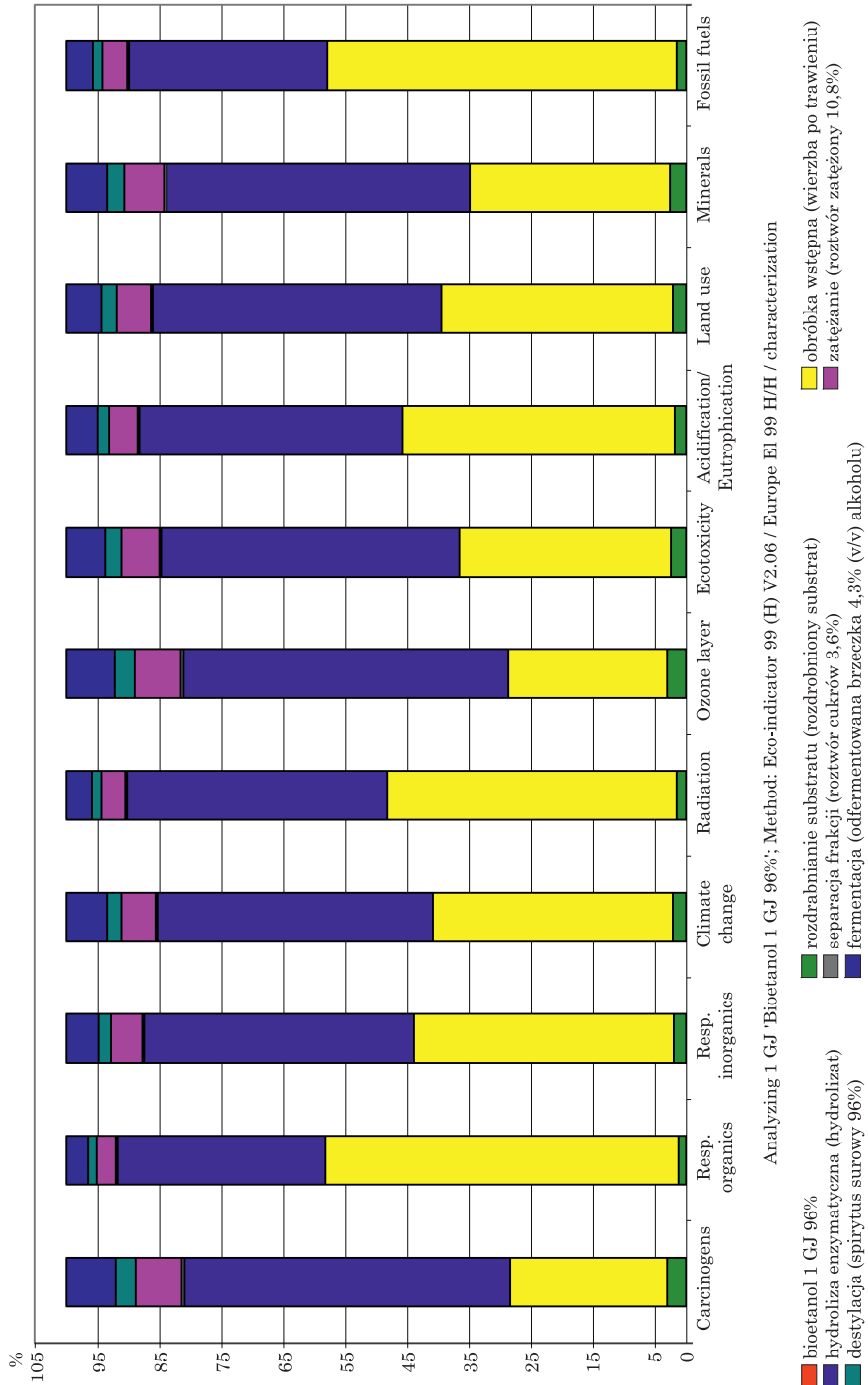
### 4.3. Etap technologiczny

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wyniki analizy cyklu życia produkcji bioetanolu II generacji z surowca lignocelulozowego (wierzba, topola, robinia akacja) w odniesieniu do 1 GJ otrzymanego paliwa (96% zawartości etanolu). Uzyskane wyniki wskazują, iż największy wpływ na środowisko mają dwa procesy jednostkowe: obróbka wstępna (alkaliczno-ciśnieniowa) i hydroliza enzymatyczna.

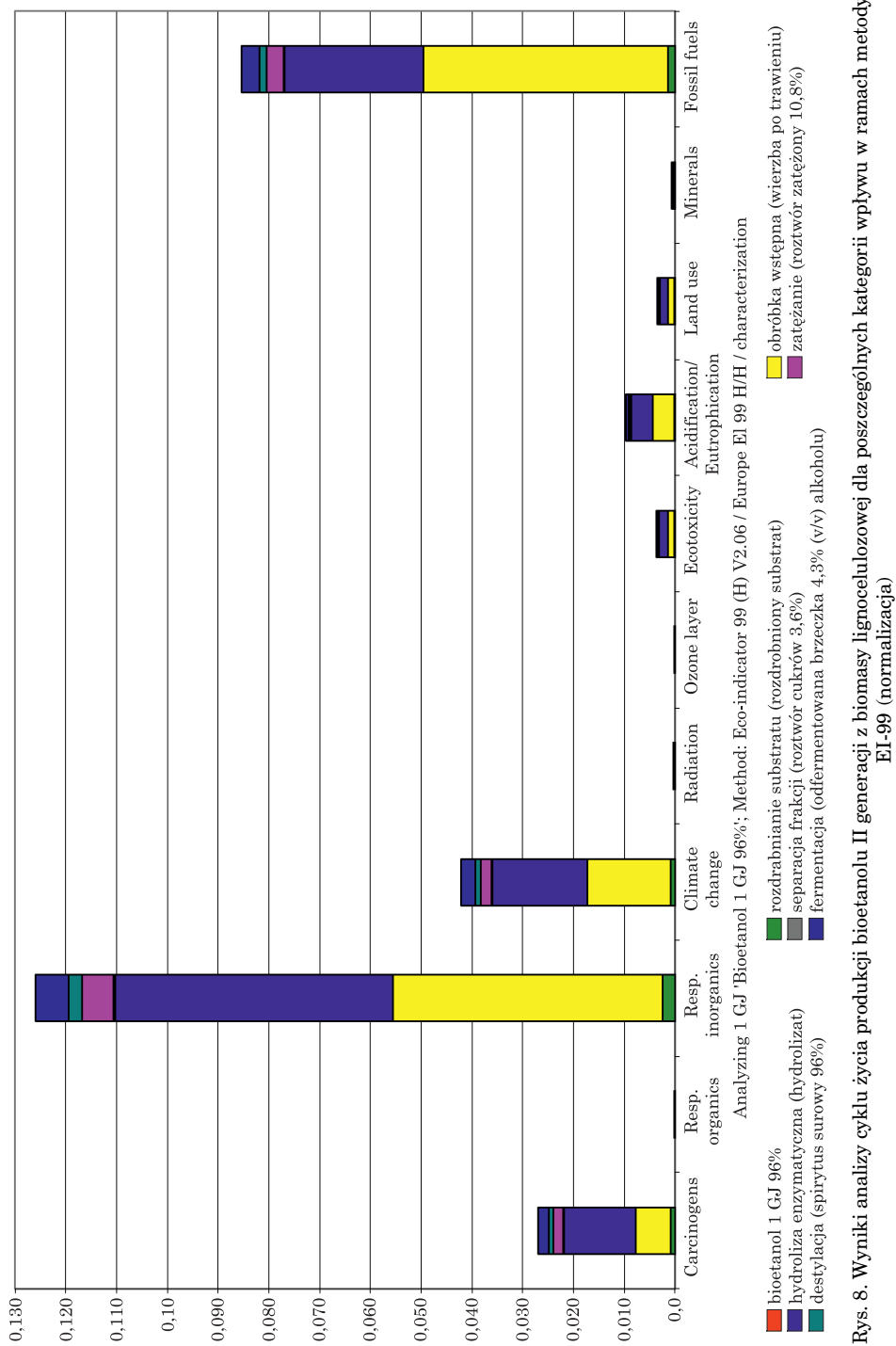
W przypadku obróbki wstępnej wysoki wpływ na środowisko jest związany ze znacznym zapotrzebowaniem na ciepło w procesie oraz emisyjnością i energochłonnością produkcji wodorotlenku sodu użytego do trawienia surowca. Natomiast proces hydrolizy enzymatycznej wiąże się ze znacznymi nakładami w postaci energii elektrycznej i ciepła. Należy jednocześnie zaznaczyć, iż w ocenie LCA w procesie hydrolizy nie zostały wzięte pod uwagę emisje związane z produkcją i zastosowaniem enzymów. Z danych literaturowych wynika, że proces produkcji enzymów jest kosztowny i wysoce energochłonny, dlatego też można się spodziewać, że hydroliza enzymatyczna będzie procesem jednostkowym mającym bardzo znaczący wpływ na środowisko w całym etapie technologicznym produkcji bioetanolu.

Analiza wyników w postaci normalizacji (rys. 8) wskazuje, iż największy względny wpływ na zdrowie ludzkie ma kategoria *substancje nieorganiczne działające destruktywnie na układ oddechowy*, a po niej – *zmiany klimatu*. W kategoriach wpływających na jakość ekosystemu zauważalne są *substancje rakotwórcze* oraz w mniejszym stopniu *zakwaszenie i eutrofizacja*. W kategoriach związanych ze zmniejszeniem zasobów znaczące jest *zużycie paliw kopalnych*.

Proces odwodnienia może mieć również bardzo istotny wpływ na uzyskane wyniki analizy ze względu na dużą energochłonność (Paola 2010). Nakłady energetyczne są zależne głównie od zastosowanej metody odwadniania. Wyróżnić możemy trzy główne metody przeprowadzania tego procesu: destylacja azeotropowa, destylacja ekstrakcyjna, perwaporacja. Jak wynika z analizy źródeł literaturowych, metody te charakteryzują się różną energochłonnością, co przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 7. Wyniki analizy cyklu życia produkcji bioetanolu II generacji z biomasy lignocelulozowej dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EI-99 (charakteryzacja)



Rys. 8. Wyniki analizy cyklu życia produkcji bioetanolu II generacji z biomasy lignocelulozowej dla poszczególnych kategorii wpływu w ramach metody EI-99 (normalizacja)

Tabela 2

Energochłonność procesu odwadniania w zależności od zastosowanej metody

Metoda odwadniania destylatu	Kcal kg <sup>-1</sup> destylatu	GJ kg <sup>-1</sup> destylatu	GJ GJ <sup>-1</sup> destylatu
Destylacja azeotropowa	2958,57	0,01239	0,393409
Destylacja ekstrakcyjna	2555,30	0,01070	0,339785
Perwaporacja	1732,47	0,00725	0,230371

Źródło: Sanchez Toro 2006.

Odnosząc wartości zestawione w powyższej tabeli do jednostki funkcjonalnej zastosowanej w niniejszej analizie (1 GJ bioetanolu), ustalono, iż w zależności od zastosowanej metody energochłonność procesu odwadniania może stanowić ok. 20–40% całkowitej energii potrzebnej do wytworzenia 1 GJ bioetanolu. Pozwala to na określenie tego podprocesu jako posiadającego znaczny udział w energochłonności całej produkcji biopaliwa.

#### 4.4. Kalkulacja emisji GHG

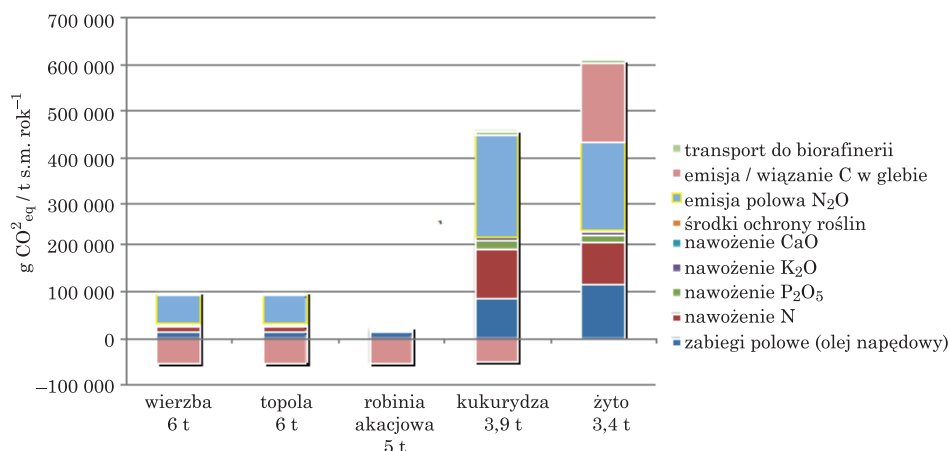
Emisję gazów cieplarnianych oszacowano za pomocą kalkulatora BIO-GRACE wersja 4. W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy w przeliczeniu na 1 tonę s.m.

Tabela 3

Emisje GHG gazów cieplarnianych dla produkcji biomasy stanowiącej surowiec do wytwarzania bioetanolu dla 1 t s.m. (wyrażona w ekwiwalencie CO<sub>2</sub>)

	Wierzba 6 t	Topola 6 t	Robinia 5 t	Kukurydza 5,9 t	Żyto 3,4 t
Zabiegi polowe (zużycie ON)	13 572	13 572	13 322	84 164	116 611
Nawożenie N	12 803	12 803	–	109 254	90 376
Nawożenie P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1 263	1 263	1 516	16 171	14 863
Nawożenie K <sub>2</sub> O	1 440	1 440	1 728	7 625	7 625
Nawożenie CaO	3	3	4	–	–
Środki ochrony roślin	2 469	2 469	636	1 936	1 936
Emisja polowa N <sub>2</sub> O	62 456	62 456	–	227 328	198 581
Emisja/wiązanie (ze znakiem minus) C w glebie	-51 949	-51 949	-52 108	-51 338	172 565
Transport do biorafinerii	3 687	3 687	3 687	10 408	7 816
<b>Razem z uwzględnieniem sekwestracji</b>	<b>45 745</b>	<b>45 745</b>	<b>-31 214</b>	<b>405 548</b>	<b>610 373</b>
<b>Razem bez sekwestracji</b>	<b>97 694</b>	<b>97 694</b>	<b>20 894</b>	<b>456 886</b>	<b>437 808</b>

Wyniki dla etapu rolniczego przedstawiono w wariancie z uwzględnieniem sekwestracji węgla w glebie (rys. 9).



Rys. 9. Emisja gazów cieplarnianych dla produkcji biomasy stanowiącej surowiec do wytwarzania bioetanolu (I i II generacji) dla 1 t s.m., z uwzględnieniem sekwestracji C w glebie

Porównując uprawy wieloletnie i jednoroczne, zdecydowanie wyższa emisyjność wiąże się z uprawą kukurydzy i żyta. W uprawie roślin jednorocznych stosuje się wyższe dawki nawożenia niż dla roślin wieloletnich. W szczególności na wynik końcowy ma wpływ nawożenie azotowe, zwłaszcza dla kukurydzy (160 kg ha<sup>-1</sup>, dla żyta 90 kg ha<sup>-1</sup>). Uprawa roli, nawożenie oraz zbiór, które mają miejsce w każdym roku uprawy, zwiększają liczbę zabiegów polowych wykonywanych maszynami zasilanymi olejem napędowym. Dlatego też emisja gazów cieplarnianych dla tych roślin jest znacznie większa niż dla upraw wieloletnich.

Łączną emisję gazów cieplarnianych dla produkcji bioetanolu z uwzględnieniem etapu produkcji biomasy przedstawiono w tabeli 4. Dane wyrażone zostały w odniesieniu do 1 MJ bioetanolu. Wartości emisji całkowitej otrzymanej dla bioetanolu II generacji są bardzo zbliżone do tych podanych w Dyrektywie (25 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup> dla etanolu z drewna uprawianego), zaś dla bioetanolu I generacji wyniki własne są podobnego rzędu co podane w Dyrektywie (biorąc pod uwagę paliwo technologiczne nieokreślone).



Tabela 4  
Wartości emisji gazów cieplarnianych dla wytwarzania bioetanolu I i II generacji oszacowane z zastosowaniem kalkulatora BIOGRACE

Ścieżka produkcji bioetanolu	Uprawa	Proces technologiczny	Transport i dystrybucja	Całkowita wartość emisji
	emisja w g CO <sub>2</sub> eq MJ <sup>-1</sup> bioetanolu**			
Etanol z wierzby (paliwo technologiczne nieokreślone)	6,53	17*	–	23,53
Etanol z topoli (paliwo technologiczne nieokreślone)	6,53	17*	–	23,53
Etanol z robinii (paliwo technologiczne nieokreślone)	3,87	17*	–	20,87
Etanol z kukurydzy (paliwo technologiczne nieokreślone)	23,59	45*	–	68,14
Etanol z żyta (paliwo technologiczne nieokreślone)	28,14	45*	–	73,14

\*wartości z Załącznika V Dyrektywy 2009/28/WE

\*\* wartości emisji nie uwzględniają sekwestracji węgla w glebie na etapie uprawy roślin energetycznych, ponieważ metodyka Dyrektywy 2009/28/WE nie uwzględnia tego podając wartości standardowe

## 5. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono możliwość wykorzystania metody LCA do oceny wpływu na środowisko technologii produkcji bioetanolu II generacji otrzymywanego z surowca lignocelulozowego (wierzba, topola, robinia akacjowa) z uwzględnieniem kalkulacji emisji gazów cieplarnianych. W odniesieniu do każdej z roślin należy stwierdzić, że na etapie uprawy biomasy największe oddziaływanie na poszczególne kategorie wpływu na środowisko miały emisje powstające podczas spalania paliw silnikowych związanych z pracą maszyn rolniczych i transportem biomasy, jak również proces produkcji nawozów i środków ochrony roślin oraz ich zastosowanie na polu. Najniższe wartości w poszczególnych kategoriach wpływu na środowisko uzyskano dla robinii.

Wyniki analizy porównawczej uprawy wierzby, topoli i robinii, wykorzystywanych jako substrat do produkcji bioetanolu II generacji, z kukurydzą i żytem, używanymi do produkcji bioetanolu I generacji, wykazały, iż najkorzystniejszy wynik w każdej kategorii wpływu uzyskały wieloletnie rośliny energetyczne, a wśród nich robinia akacjowa (wyniki w każdej kategorii wpływu nie przekraczają 15% wartości wpływu odnotowanego dla roślin jednorocznych).

W odniesieniu do etapu technologicznego (bez uwzględnienia odwadniania) uzyskane wyniki wskazują, że największy wpływ na środowisko mają dwa

procesy jednostkowe: obróbka wstępna (alkaliczno-ciśnieniowa) oraz hydroliza enzymatyczna. Ze względu na udział obróbki wstępnej oraz hydrolizy enzymatycznej w ogólnej emisji gazów cieplarnianych z wytwarzania bioetanolu istotne jest prowadzenie prac nad podniesieniem wydajności tych procesów, co będzie miało wysoki wpływ na emisyjność i energochłonność, a zatem na zmniejszenie kosztów i wpływu na środowisko całego łańcucha produkcji bioetanolu. Wartości emisji całkowitej otrzymanej dla bioetanolu II generacji w ramach obliczeń własnych były niższe od wartości podanych w Dyrektywie (23,53 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup> bioetanolu dla wierzby i topoli oraz 20,87 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup> bioetanolu dla robinii).

## Piśmiennictwo

- Bastidas P.A., 2010. *Comparison of the main ethanol dehydration technologies through process simulation*. Elsevier.
- Brandao M., Canals L.M., Clif R. 2011. *Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA*. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2323–2336.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- Fava J. 1991. *A technical framework for Life-Cycle Assessment*. W: SETAC and SETAC Foundation for Environmental Education, Washington.
- Goedkoop M., DeSchryver A., Oele M. 2008. *Introduction to LCA with SimaPro 7*, PRe Consultants. Holandia.
- Goedkoop M., Spriensma R. 2000. *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Assessment. Methodology report*, PRe Consultants B.V., Holandia.
- Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M. 2001. *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych*. PWN, Warszawa.
- Lindfors L.G. 1995. *Nordic guidelines on Life-Cycle Assessment*, Copenhagen: Nordic Council of Minister.
- Samson-Bręk I. 2012. *Application of Life Cycle Assessment (LCA) to assess the environmental impact of biomass cultivation processes dedicated for energy purposes*. *CHEMIK Nauka – Technika – Rynek*, 66(11): 1190–1195.
- Sanchez Toro O.J., Cardona Alzate C.A., Moncada Escudero J.A. 2006. *Modeling and simulation of ethanol dehydration. by pervaporation and energy analysis of separation schemas for fuel ethanol production*. Conference: 17th International Congress of chemical and process engineering. Praga, Czech Republic 27-31 August 2006.
- www.biograce.net

## ROZDZIAŁ 6

### **Możliwości wdrażania efektywnych systemów produkcji energii z wykorzystaniem biomasy z produkcji rolniczej**

### **Ways of implementing effective energy production systems using biomass from rural production**

**Zbigniew Brodziński**

Katedra Ekonomiki Przestrzennej i Środowiskowej  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: produkcja energii, biomasa, produkcja rolnicza.

Key words: energy production, biomass, rural production.

#### Streszczenie

Badania z wykorzystaniem kwestionariuszy wywiadu przeprowadzono w 2012 roku wśród 108 producentów rolnych, 27 przetwórców biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne i 116 przedstawicieli samorządów lokalnych na terenie woj. warmińsko-mazurskiego. Celem prowadzonych badań było zidentyfikowanie uwarunkowań związanych z wdrażaniem efektywnych systemów produkcji energii w skali lokalnej z wykorzystaniem biomasy. Jak zaobserwowano, perspektywy rozwoju upraw roślin z przeznaczeniem na cele energetyczne zależą od wielu czynników, zarówno tych wewnętrznych – dotyczących obecnego poziomu organizacji sektora rolniczego, jak i zewnętrznych, w tym od rozwiązań o charakterze prawnym.

W konkluzji stwierdzono, że biomasa pochodzenia rolniczego jako odnawialne źródło energii jest wykorzystywana w niewielkim stopniu. Należy oczekiwać, że w perspektywie kilku najbliższych lat stanie się ona ważnym kierunkiem produkcji w wielu gospodarstwach rolnych. Warunkiem dalszego rozwoju tego typu aktywności jest rozwiązanie problemu organizacji przetwórstwa biomasy oraz ustalenia optymalnej skali upraw roślin z przeznaczeniem na cele energetyczne i żywnościowe.

#### Summary

Research, using interview questionnaires, was conducted in 2012, involving 108 farmers, 27 processors of energetic biomass and 116 local governments representatives in Warmia and Mazury voivodship. The point of conducted research, was indentifying conditionings, concerning implementation of effective energy production systems using biomass. It was observed, that growth perspectives of cultivating plants for energy depend on numerous factors, both inner (concerning current organization level of rural sector), as well as outer, including legal solutions.

It was concluded, that biomass of vegetative origin, used as renewable energy source, is rarely used. It is expected, that in next few years, its production will become and important part of many homesteads. The condition for further development of this kind of activities is resolving the biomass processing organization and finding an optimal scale on which plants for energy and food will be cultivated.

## 1. Wstęp

Obok zaspokajania rosnących potrzeb żywnościowych, wyzwaniem dla współczesnego rolnictwa staje się wzrost jego udziału w produkcji wielu dóbr niekojarzonych wcześniej z tą gałęzią gospodarki. Ten kierunek zmian oznacza poszukiwanie nowych możliwości dywersyfikacji źródeł dochodu, co determinuje proces wielofunkcyjnego rozwoju rolnictwa.

Wzrost zainteresowania rolników działalnością pozarolniczą przekłada się na zmianę profilu produkcji lub jej orientację na nowe rynki zbytu. Jednym z obszarów tej swoistej transformacji rolnictwa – jego wielofunkcyjnego rozwoju – staje się produkcja surowców z przeznaczeniem na cele energetyczne. Rolnicy, stając się pośrednio lub bezpośrednio dostawcami energii, podejmują decyzje gospodarcze kierując się różnymi pobudkami, a w szczególności optymalizacją wykorzystania posiadanych zasobów. Ważne wydaje się zidentyfikowanie czynników mających wpływ na skalę, kierunek i dynamikę rozwoju produkcji energii w oparciu o biomasę pochodzenia rolniczego. Poszukiwano zatem odpowiedzi na pytania, czy rolnictwo stanie się dostawcą biomasy na cele energetyczne z gruntów wyłączonych z produkcji surowców żywnościowych, czy będzie oferowało produkty uboczne innych kierunków produkcji, czy też biomasa będzie produkowana w plonie głównym, stanowiąc alternatywny kierunek produkcji rolniczej w odniesieniu do tradycyjnych upraw. Uznając, że jednoznaczne rozstrzygnięcia dotyczące ww. kwestii są sprawą przyszłości, w pracy podjęto próbę zidentyfikowania części uwarunkowań związanych z wdrażaniem efektywnych systemów produkcji energii w skali lokalnej z wykorzystaniem biomasy.

Zebrany materiał badawczy, na podstawie wywiadów prowadzonych w 2012 roku wśród 108 producentów rolnych oraz 27 przetwórców zajmujących się produkcją biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne i 116 przedstawicieli reprezentujących urzędy wszystkich gmin na terenie woj. warmińsko-mazurskiego, stanowi wstęp do dyskusji na temat współczesnych wyzwań i przyszłości nowego kierunku aktywności gospodarczej producentów rolnych i przetwórców, który można określić mianem agroenergetyki<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Pod pojęciem „agroenergetyka” autor rozumie zarówno sam proces pozyskania biomasy z gospodarstwa, jak i jej przetworzenia, w wyniku którego uzyskana zostanie energia (w postaci np. ciepła) lub różne formy paliwa.

## 2. Uwarunkowania produkcji biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych

Rolnictwo w woj. warmińsko-mazurskim wyróżnia się na tle innych części kraju relatywnie wysokim udziałem gospodarstw mających charakter towarowy. W 2010 roku rolnicy posiadali 5,6% krajowej powierzchni zbóż, 6,4% powierzchni zasiewów strączkowych jadalnych, 6,2% upraw przemysłowych (w tym 1,6% buraka cukrowego i 7,3% rzepaku i rzepiku), 2,7% upraw ziemniaka, 9,0% upraw pastewnych i 1,2% powierzchni upraw roślin warzywnych. Sektor ten pozostaje jedną z podstawowych sfer aktywności gospodarczej mieszkańców regionu (*Stan obecny i perspektywy...* 2012).

W przypadku zidentyfikowanych producentów biomasy przeznaczanej na cele energetyczne na terenie woj. warmińsko-mazurskiego zaobserwowano, że średnia powierzchnia tej grupy gospodarstw to 199,2 ha, w tym użytki rolne (UR) stanowią średnio w gospodarstwie 180,1 ha (natomiast mediana ogólnej powierzchni gospodarstwa z objętej badaniami grupy to 93,5 ha (UR 83,5 ha)<sup>2</sup>. Obszarowo najmniejsze uczestniczące w badaniach gospodarstwo posiadało 12,6 ha, zaś największe 1988,0 ha. Jak można zauważyć, produkcja biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne generalnie koncentruje się w gospodarstwach dysponujących stosunkowo dużym arealem. W tabeli 1 przedstawiono strukturę i średnie powierzchnie wybranych upraw prowadzonych w gospodarstwach uczestników badań z przeznaczeniem na biomasę.

Tabela 1

Struktura powierzchni upraw z przeznaczeniem na biomasę w 2012 roku (w ha)

Wyszczególnienie	Procent wskazań	Liczba wskazań	Średnia powierzchnia	Mediana	Pow. uprawy	
					min	max
Zboża	24,59	15	50,21	20	5,00	200,00
Motylkowe z trawami	4,92	3	26,00	25	5,00	48,00
Kukurydza	3,28	2	180,00	180	180,00	180,00
Trawy	8,20	5	52,50	40,76	11,27	96,08
Rzepak i rzepik	13,11	8	79,43	67,75	6,00	277,70
Rośliny energetyczne	65,57	40	30,05	12,16	0,60	330,00

Źródło: badania własne.

<sup>2</sup> Gdy mediana jest mniejsza od średniej arytmetycznej, oznacza to, że wartość tej cechy większości jednostek statystycznych jest niższa od średniej arytmetycznej.

Z informacji uzyskanych od producentów rolnych wynika, że 65,6% z nich uprawia wieloletnie rośliny energetyczne. W grupie tej znajdują się głównie właściciele gospodarstw o średniej powierzchni (ok. 30,0 ha). Aż 65,7% respondentów uznało, że w perspektywie najbliższych kilku lat zamierza zwiększyć w strukturze zasiewów udział upraw z przeznaczeniem na cele energetyczne. Przede wszystkim będą to takie uprawy, jak zboża (21,3% wskazań), wierzba energetyczna (16,7%) oraz rzepak (12,0%). Przetawione wyniki pozwalają sądzić, że w biomase rolniczej istnieje niewykorzystany potencjał energetyczny, co potwierdzają m.in. wyniki badań innych autorów (Korycińska 2009).

Rozwój omawianego alternatywnego kierunku produkcji znajduje jednak ograniczenia w celach żywnościowych rolnictwa. Według ekspertów Instytutu Energetyki Odnawialnej (*Krajowy Plan Działań...* 2010), przeznaczenie gruntów pod uprawę np. rzepaku, będącego surowcem do produkcji biodiesla, znacznie przewyższa graniczny areal produkcji tej rośliny na cele żywnościowe i paliwowe (1,1 mln ha)<sup>3</sup>. Dane szacunkowe wskazują, że może zabraknąć ok. 1 mln ha do produkcji rzepaku i Polska będzie zmuszona do importu znacznych ilości surowca lub oleju w przypadku gdy zostanie osiągnięty zamierzony cel produkcji biodiesla. Z kolei wskazane w Krajowym Planie Działania zapotrzebowanie na zboża do produkcji bioetanolu w ocenie ekspertów może być pokryte w pełni (*Określenie potencjału...* 2011).

Jak zaobserwowano w trakcie badań, w gospodarstwach zajmujących się produkcją biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne podstawowymi jej źródłami są uprawy na tzw. nadwyżkach gruntów rolnych<sup>4</sup> oraz na gruntach zdegradowanych<sup>5</sup>. Warto zauważyć, że w woj. warmińsko-mazurskim użytki znajdujące się w złej kulturze rolnej, czyli te, które można uznać za potencjalne stanowiska pod rośliny energetyczne, stanowią 7,4%, tj. ok. 77 tys. ha (*Stan obecny...* 2012).

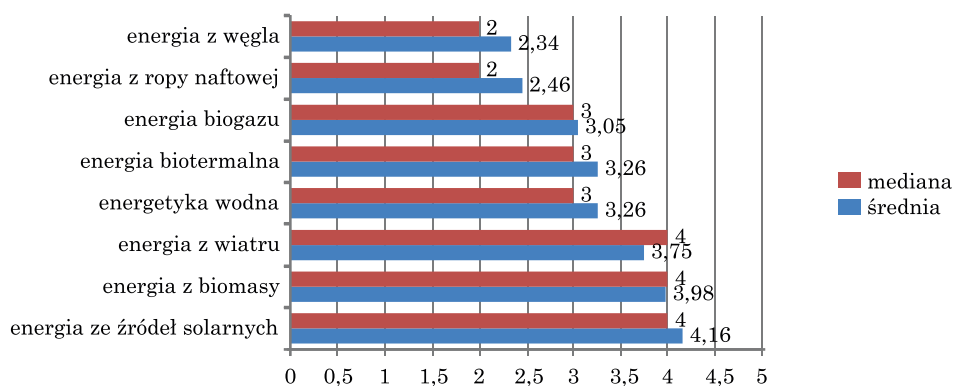
Konstatując można stwierdzić, że uprawa biomasy w gospodarstwach rolnych w perspektywie kilku najbliższych lat może mieć charakter równoważony względem skali produkcji energii i potrzeb energetycznych, a także stać się ważnym źródłem dodatkowego dochodu i zwiększenia zatrudnienia na obszarach wiejskich. Według danych GUS, w Polsce w latach 2006–2011 największą pozycję bilansu energii odnawialnej stanowi właśnie energia biomasy stałej. Udział biomasy wśród nośników energii odnawialnej w łącznym pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w 2011 roku wynosił ok. 85%, podczas gdy energii promieniowania słonecznego zaledwie 0,13%, a energii wody – 2,58%.

<sup>3</sup> Podana wartość graniczna nie powinna być przekraczana ze względów fitosanitarnych.

<sup>4</sup> Biomasa z przeznaczeniem na cele energetyczne może być pozyskiwana na tych gruntach w sytuacji, gdy popyt na żywność i pasze jest zaspokojony.

<sup>5</sup> Podobne wnioski prezentuje m.in. Hoogwijk (2004, s. 29).

Uzyskane wyniki badań wskazują, że w opinii respondentów energia pochodząca z biomasy jest jedną z głównych alternatyw pozyskania energii ze źródeł odnawialnych, ale zaraz po energii solarnej (rys. 1). Rośliny energetyczne, jak twierdzą m.in. Robles i Dalia (2011), mogą w przyszłości stać się strategicznym kierunkiem produkcji rolnej, a tym samym będą stymulować wzrost udziału biopaliw, dostaw energii i realizację celów polityki energetycznej. Należy jednak zauważyć, że dalszy rozwój upraw roślin energetycznych, traktowany często jako antidotum na problemy związane z poprawą opłacalności produkcji rolnej czy też sytuacji społeczno-gospodarczej ludności zamieszkującej obszary wiejskie, musi uwzględniać warunki środowiskowe. Nie wszystkie bowiem tereny, także grunty o niekorzystnych warunkach gospodarowania, wskazywane jako optymalne do produkcji biomasy, mogą być do tego celu wykorzystywane.



Rys. 1. Kierunki zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych w perspektywie najbliższych lat w opinii respondentów (ocena punktowa w skali 1–5, gdzie 5 to ocena maksymalna)

Źródło: badania własne.

Liczne ograniczenia hamujące rozwój całej branży odnawialnych źródeł energii (OZE) to problemy o charakterze ekonomicznym, technicznym, logistycznym, ekologicznym, społecznym, poznawczym, prawnym i handlowym. Są one związane także z dostępnością i własnością gruntów, zagrożeniem wylesiania niektórych obszarów, zachwiania bilansu energii, narastaniem konfliktów czy konkurencją tego kierunku aktywności gospodarczej rolników z produkcją żywnościowych surowców rolnych.

Mimo tak rozbudowanej grupy uwarunkowań, producenci biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne, identyfikując czynniki decydujące o dalszym rozwoju swojej aktywności w tym obszarze, wskazywali przede wszystkim na ograniczenia handlowe, takie jak brak stabilizacji cen na rynku zbytu

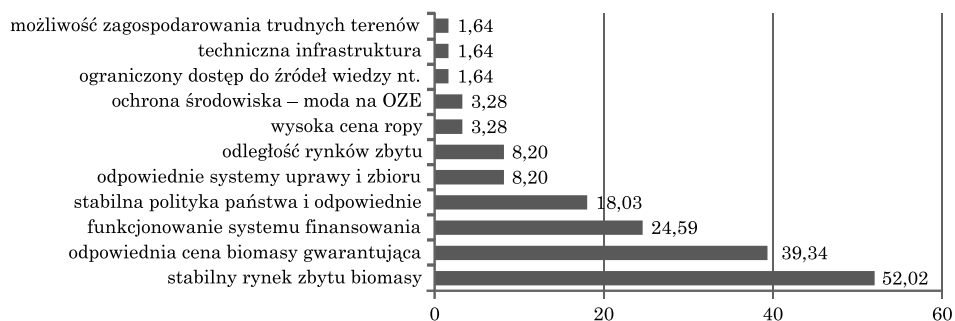
(ok. 60,2% wskazań) oraz na potrzebę zapewnienia ceny surowca, które gwarantowałyby opłacalność produkcji (38,9%). Ten roszczeniowy charakter wypowiedzi może mieć źródło m.in. w notowanym niskim poziomie organizacji systemu przetwórstwa biomasy na cele energetyczne, co w konsekwencji zakłóca kształtowanie się równowagi między jej popytem i podażą.

Fakt, że organizacja nowoczesnych łańcuchów technologicznych przetwórstwa biomasy wymaga znaczących nakładów inwestycyjnych, czyni nadal bardzo atrakcyjnym źródłem surowca nośniki konwencjonalne. Realizacja przyjętej strategii energetyczno-klimatycznej UE wymaga zatem działań na rzecz promocji wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych poprzez zastosowanie odpowiednich mechanizmów ekonomicznych (*Energia...* 2011). W opinii co czwartego respondenta to brak dopłat do tego typu upraw stanowi główną barierę rozwoju. Relatywnie wysokie nakłady związane z produkcją roślinną z przeznaczeniem na biomasę, w sytuacji niskiej lub wręcz ujemnej opłacalności prowadzenia innych upraw rolniczych, ogranicza poziom zainteresowania rolników tym kierunkiem produkcji. W efekcie oczekują oni na wprowadzenie odpowiednich mechanizmów wsparcia finansowego, które mogłyby stanowić rekompensatę z tytułu niskiej efektywności ekonomicznej upraw. Odpowiedni system wsparcia wydaje się wystarczającą przesłanką koncentrującą zainteresowanie rolników na uprawach roślin energetycznych. Co prawda, jest obecnie dostępnych wiele źródeł finansowania produkcji OZE, szczególnie na obszarach wiejskich, ale dostępne środki są nakierowane przede wszystkim na rozwój i modernizację infrastruktury oraz bazy podmiotów zajmujących się przetwórstwem, a nie bezpośrednio produkcją rolniczą związaną z agroenergetyką.

Kolejnym czynnikiem decydującym o rozwoju produkcji biomasy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych, ważnym w opinii 18,5% respondentów, jest odpowiednia polityka państwa wraz z regulacjami prawnymi, ponieważ obecny stan rozwiązań prawnych jest w analizowanej grupie producentów biomasy traktowany jako negatywnie oddziałujący na wzrost udziału OZE. Pozostałe uwarunkowania dotyczyły odpowiedniego systemu upraw i zbioru oraz odległości do punktów zbytu. Należy zwrócić uwagę na fakt, że respondenci nie przywiązywali w swoich ocenach specjalnej wagi do takich kwestii, jak wzrost cen na rynku surowców alternatywnych (np. ropy naftowej) w stosunku do biomasy oraz konieczność ochrony środowiska (rys. 2).

Prowadzone w trakcie badań obserwacje pozwalają wyróżnić trzy podstawowe typy gospodarstw rolnych zainteresowanych produkcją biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. Reprezentantami pierwszej są rolnicy, którzy zmieniają organizację i metody gospodarowania (ta strategia działania dotyczy grupy gospodarstw modelu industrialnego – obszarowo największych). Z kolei cechą charakterystyczną drugiej grupy są strategie polegające na dywersyfikacji produkcji rolnej i przeznaczaniu do produkcji biomasy głównie





Rys. 2. Czynniki, które w opinii respondentów decydują o rozwoju produkcji biomasy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych (procent wskazań)

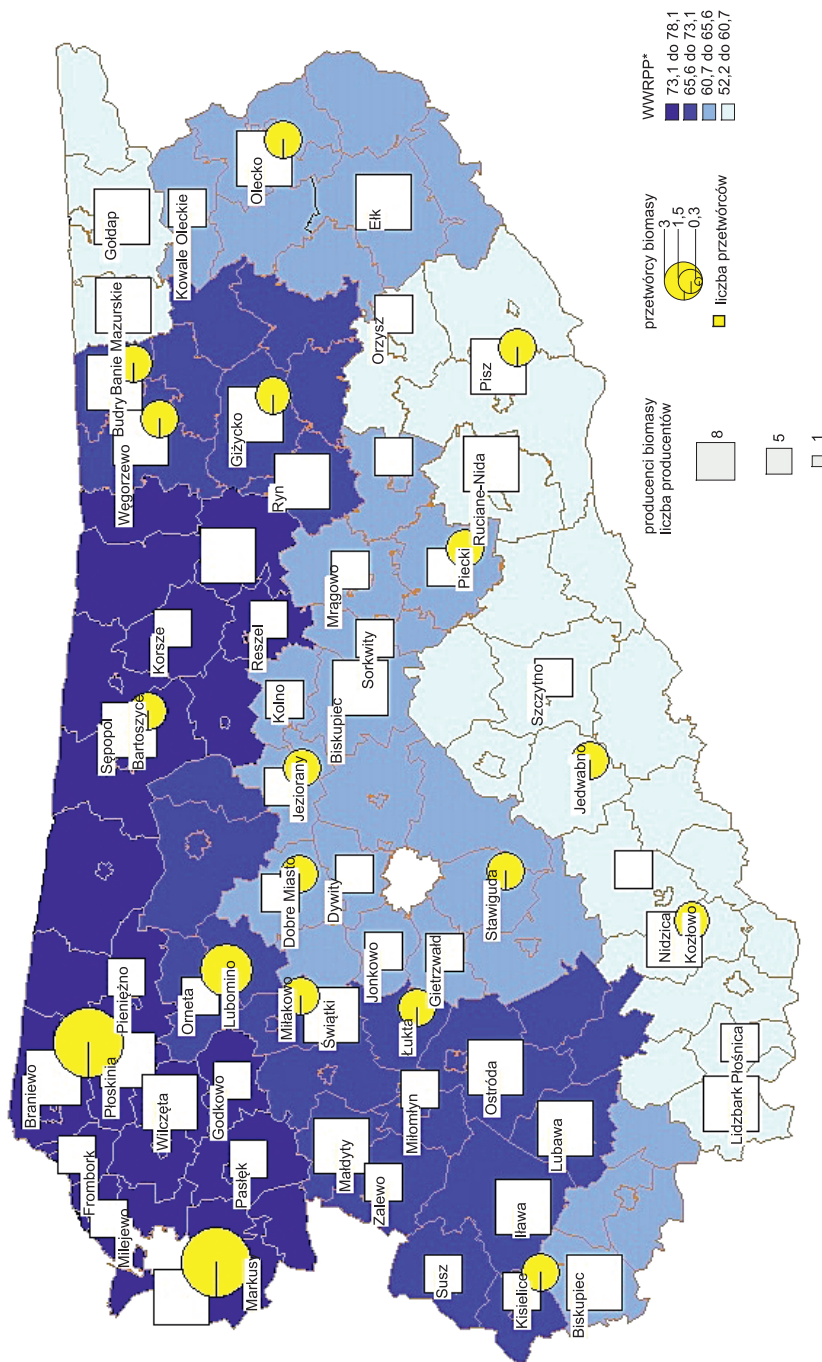
Źródło: badania własne.

gruntów o niewielkiej przydatności do prowadzenia innych upraw. W tej grupie gospodarstw jako źródło energii często jest wykorzystywana biomasa stanowiąca plon uboczny. Z kolei przedstawiciele trzeciej grupy produkują biomasę głównie na samozaopatrzenie w energię, w związku z czym zastosowana technologia pozyskania energii (głównie ciepła) decyduje o rodzaju prowadzonej uprawy.

### 3. Uwarunkowania związane z przetwórstwem biomasy na cele energetyczne

Rozwój OZE jest zależny nie tylko od dynamiki dokonujących się zmian w zakresie technologii czy presji różnych grup nacisku na redukcję emisji gazów cieplarnianych, ale przede wszystkim od możliwości stworzenia zintegrowanego systemu produkcji biomasy, jej przetwarzania i dystrybucji energii. Efektywnemu wykorzystaniu biomasy w energetyce sprzyja tworzenie lokalnych, rozproszonych centrów energetycznych zlokalizowanych na obszarach wiejskich. Stworzenie lokalnego systemu wykorzystania biomasy jest uważane za bardzo efektywne energetycznie, w pełni ekologiczne i aktywizujące obszary wiejskie poprzez tworzenie nowych miejsc pracy, pełne wykorzystanie gruntów i obrót kapitału w układzie lokalnym (Gostomczyk 2009).

Producenci biomasy na terenie woj. warmińsko-mazurskiego są rozmieszczeni głównie w jego części zachodniej i w pasie północno-wschodnim (rys. 3). Ważnym elementem lokalizacji działalności związanej z rolniczą produkcją biomasy jest położenie plantacji w stosunku do potencjalnych miejsc jej odbioru. Decydującym czynnikiem mającym wpływ na opłacalność produkcji są bowiem koszty transportu związane nie tylko z odległością, na jaką jest przewożony surowiec, ale również z rodzajem surowca i poziomem jego prze-



Rys. 3. Rozmieszczenie producentów i przetwórców biomasy na terenie woj. warmińsko-mazurskiego na tle wskaźnika waloryzacji jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych oraz danych IUNG.

tworzenia. Optymalna lokalizacja i dostosowanie rodzaju surowca do konkretnych potrzeb jego odbiorcy pozwalają na osiągnięcie satysfakcjonujących przychodów.

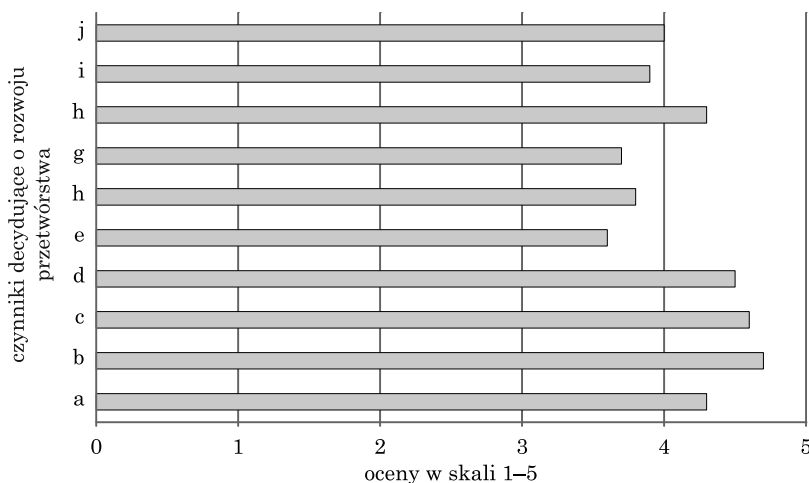
Z punktu widzenia podmiotów zajmujących się skupem i przetwórstwem biomasy na cele energetyczne wyraźnie wyróżnia się na tle regionu część północno-zachodnia regionu. Jak można zaobserwować, to lokalizacja względnie dużych podmiotów będących potencjalnie odbiorcami surowca sprzyja koncentracji produkcji polowej biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. W środkowej części regionu występują pojedyncze podmioty, zaś w pasie północnym i południowo-wschodnim jest niewielu odbiorców i producentów biomasy. Lokalizacja podmiotów i gospodarstw związanych z produkcją biomasy na cele energetyczne koncentruje się głównie w tych gminach i powiatach, w których wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej kształtuje się na poziomie średnim (rys. 3).

W przypadku grupy przedsiębiorców zajmujących się dalszymi etapami przetwórstwa biomasy zidentyfikowane uwarunkowania nieznacznie różnią się od tych, jakie wskazywali producenci rolni. Można zatem uznać, iż podstawowym problemem jest słabo rozwinięty rynek zbytu i niesatysfakcjonujące ceny przetwarzanej biomasy, a także częste wahania cen oraz znaczne odległości dowozu surowca. Wypowiedzi przedsiębiorców na temat perspektywy rozwoju OZE także były zbieżne z poglądami badanych rolników. Należy także odnotować fakt, że wskazywana opcja pozyskania energii z biomasy miała zbliżoną rangę w opinii obu grup respondentów. Wskazania przetwórców biomasy koncentrowały się na innych niekonwencjonalnych źródłach, w tym przede wszystkim na wykorzystaniu słomy, odpadów oraz biomasy pochodzącej z wieloletnich upraw roślin energetycznych (rys. 4).

Z wypowiedzi przedstawicieli obydwu objętych badaniami grup wynika, że agroenergetyka jest szansą dla woj. warmińsko-mazurskiego, które dysponuje znacznymi zasobami ziemi rolniczej. Pamiętając, że na procesy rozwoju regionu mają wpływ uwarunkowania zewnętrzne<sup>6</sup>, główną uwagę w działaniach na rzecz rozwoju produkcji i wykorzystania OZE należy skoncentrować na uwarunkowaniach lokalnych i czynnikach endogenicznych. Z tych m.in. względów polityka krajowa, w powiązaniu z polityką energetyczną UE, winna stosować instrumenty wspomagające i korygujące procesy rozwojowe. Szczególna rola zintegrowanych systemów pozyskania i przerobu biomasy z jej przeznaczeniem na cele energetyczne wynika przede wszystkim z potrzeby racjonalnego wykorzystania zasobów (ziemi, siły roboczej itp.) istniejących w rolnictwie i na obszarach wiejskich.

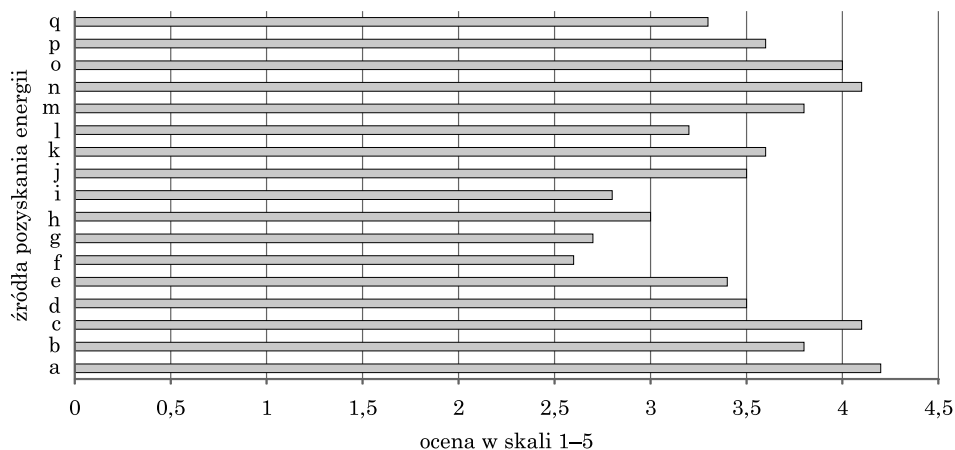
---

<sup>6</sup> W tym np. przewidywalność zmian społeczno-gospodarczych i polityki wobec obszarów wiejskich. O ile przed integracją Polski z UE realne procesy rozwojowe przebiegały często w sposób niezamierzony, a reformy dotyczące sfery gospodarczej i społecznej były mało stabilne, o tyle po integracji mechanizmy polityki rozwoju obszarów wiejskich stały się przewidywalne, co zachęca do programowania rozwoju.



Rys. 4. Uwarunkowania przerobu biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne w opinii odbiorców biomasy z województwa warmińsko-mazurskiego: a – wysokie koszty założenia plantacji upraw; b – brak rynku zbytu; c – zbyt niskie ceny biomasy; d – brak stabilnych cen za surowiec; e – duża podaż biomasy z lasów itp.; f – brak zorganizowanego systemu zbioru; g – występujące trudności dotyczące techniki zbioru; h – duża odległość od miejsca powstania do miejsca przetworzenia biomasy; i – niska konkurencyjność wobec innych upraw, nieprzeznaczonych na cele energetyczne; j – brak przekonania wśród producentów, że jest to opłacalny kierunek produkcji rolniczej

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.



Rys. 5. Perspektywy zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych w opinii przetwórców biomasy z województwa warmińsko-mazurskiego: a – import biomasy różnego pochodzenia; b – drewno (odpady drzewne, przemysłowe itp.); c – słoma; d – odpady (rolnicze, komunalne itp.); e – wieloletnie rośliny energetyczne; f – rośliny okopowe (burak cukrowy, ziemniak); g – rośliny oleiste (rzepak, rzepik); h – uprawy energetyczne (kukurydza, zboża itp.); i – energia z innych konwencjonalnych źródeł; j – energia z gazu; k – energia z ropy naftowej; l – energia z węgla; m – energetyka wodna; n – energia geotermalna; o – energia z biomasy; p – energia z wiatru; q – energia ze źródeł solarnych

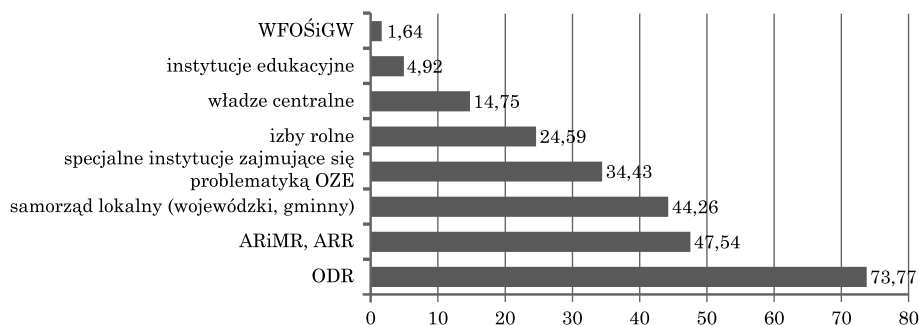
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

## 4. Uwarunkowania realizacji celów polityki energetycznej w skali lokalnej

Ważnym czynnikiem rozwoju upraw z przeznaczeniem na cele energetyczne jest wsparcie różnego rodzaju instytucji. Poważnym problemem pozostaje znajdujący się w stanie szcątkowym system przepływu informacji oraz względnie niski poziom wiedzy rolników dotyczący kwestii doboru roślin, prowadzenia upraw, możliwości i form zbytu biomasy (aczkolwiek tę kwestię dostrzegł tylko jeden respondent).

W opinii prawie 3/4 uczestniczących w wywiadzie rolników najważniejszą rolę w transferze wiedzy dotyczącej rozwoju produkcji biomasy powinny pełnić wojewódzkie ośrodki doradztwa rolniczego (WODR), a według 47,5% respondentów ARiMR i ARR<sup>7</sup>. Podobna liczba respondentów (44,3%) wskazała na ważną rolę w tej kwestii samorządów lokalnych, szczególnie że sektor samorządowy jest często beneficjentem środków z UE, które można przeznaczyć na rozwój infrastruktury związanej z organizacją systemu pozyskania energii ze źródeł odnawialnych (rys. 6).

Generalnie potrzebę wsparcia instytucji zajmujących się problematyką OZE dostrzegali co trzeci respondent, zaś co piąty objęty badaniami rolnik zwracał uwagę, że istotnym elementem systemu transferu wiedzy związanej z produkcją biomasy na cele energetyczne i jej przetwórstwem jest izba rolnicza. Można stwierdzić, że producenci biomasy wsparcia dla swoich działań poszukują najczęściej w najbliższym otoczeniu.



Rys. 6. Instytucje i organizacje, które w opinii producentów biomasy powinny wspierać działania na rzecz popularyzowania jej wykorzystania na cele energetyczne (procent wskazań)

Źródło: badania własne.

<sup>7</sup> W latach 2007–2009 ARiMR udzielała rolnikom wsparcia finansowego z tytułu upraw roślin przeznaczonych na cele energetyczne. Organem odpowiedzialnym za nadzorowanie procesu przetwarzania ww. roślin na końcowe produkty energetyczne była ARR.

Uwzględniając wciąż niską konkurencyjność OZE w stosunku do podstawowego surowca energetycznego, jakim jest węgiel, należy dążyć do budowania efektywnych energetycznie i ekonomicznie systemów pozyskania energii w skali lokalnej. Jednym z podstawowych surowców, charakteryzujących się ogólną dostępnością i łatwością w przekształceniu termicznym przy użyciu prostych instalacji, jest biomasa stała (Pindur, Preisner 2011). Jej przetworzenie na energię i w dalszej kolejności dystrybucja tejże energii mogą przynieść w skali lokalnej znaczące korzyści obejmujące:

- znaczne zwiększenie skali wykorzystania gruntów niezagospodarowanych na uprawy roślin z przeznaczeniem na energię;
- systemowe rozwiązanie problemu zagospodarowania bioodpadów, szczególnie komunalnych;
- znaczne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>.

Wskazane kwestie są ściśle powiązane z zapewnieniem bezpieczeństwa energetycznego Polski<sup>8</sup>. Wzrost znaczenia OZE zależy będzie od opłacalności wdrażania nowych rozwiązań, a także – co nie zyskało jeszcze właściwego sobie uznania w literaturze przedmiotu – od aktywności samorządów na rzecz wspierania inicjatyw i projektów służących tworzeniu lokalnych systemów pozyskania energii.

Jeżeli są takie możliwości i nie zakłócają one rynku żywności (dostawy, ceny), to wówczas istnieje możliwość częściowej transformacji rolnictwa na potrzeby energetyki. Takie działania mogą być skutecznie wspierane w ramach wdrażania programów o zasięgu obejmującym jedną lub kilka gmin. W programach tych należy określić:

- 1) zasoby ziemi rolniczej, które mogą zostać wykorzystane do produkcji roślin z przeznaczeniem na cele energetyczne;
- 2) uprawy energetyczne i technologie ich przetwarzania na paliwa i energię, które zapewnią w danych warunkach odpowiednio wysoką efektywność energetyczną i ekonomiczną;
- 3) warunki współdziałania podmiotów lokalnych w zakresie wdrażania zintegrowanych systemów produkcji energii i jej dystrybucji wśród lokalnych jej odbiorców.

Już na etapie planowania inwestycji związanych z OZE nie można zapomnieć o specyfice tego rodzaju przedsięwzięć, chociażby sezonowości czy bogatej ofercie sposobów, kierunków i różnorodności dostępnych urządzeń wykorzystywanych w procesach pozyskania energii, skali opłacalności. Szczególny istot-

---

<sup>8</sup> Bezpieczeństwo energetyczne kraju należy rozpatrywać w kategoriach dynamicznie zmieniającego się procesu, który ma na celu „zaspokojenie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. Zob. ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U. nr 54, poz. 348 z późn. zm.).

ny jest problem oddziaływania technologii energetycznych na środowisko, który zdaniem m.in. Graczyka (2011) ma charakter kompleksowy i dotyczy wielu różnych płaszczyzn. Praktyka dowodzi, że niektóre instalacje służące pozyskaniu energii, jak np. farmy wiatrowe czy biogazownie, stają się często źródłem konfliktów i są postrzegane przez zdecydowaną większość sąsiadujących z tymi obiektami mieszkańców jako przedsięwzięcia mające negatywny wpływ na lokalną gospodarkę i jakość życia lokalnych społeczności. Jednocześnie można zauważyć, że akceptację społeczną zyskuje wykorzystanie biomasy jako surowca do wytwarzania ciepła. Jest to jeden z głównych nośników energii pozyskiwanej i jednocześnie w pełni zagospodarowanej w skali lokalnej.

Z informacji uzyskanych od przedstawicieli samorządów wynika, że aktualne plany zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe posiada 28 gmin woj. warmińsko-mazurskiego, co stanowi 24,1% ogólnej ich liczby. Ponadto zaledwie 9 z istniejących 28 planów powstało przed rokiem 2009, a więc przed wejściem w życie pakietu energetycznego 3 × 20. W przypadku 5 z 21 powiatów analizowanego regionu żadna z gmin nie posiadała takiego dokumentu, przy czym np. „Plan zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe” nie jest uznawany przez samorzady lokalne za instrument realizacji polityki energetycznej, co sprawia, że większość podejmowanych w tym zakresie działań ma charakter doraźny. Do opracowania i uchwalenia ww. planu oraz założeń do niego obliguje gminy ustawa – Prawo energetyczne. Samorzady lokalne, podejmując inicjatywy na rzecz tworzenia systemów zarządzania energią, powinny wykorzystywać takie narzędzia, jak polityka energetyczna, plan energetyczny, program gospodarowania OZE, plan działań w sytuacjach awaryjnych, negocjacje, umowy partnerstwa publiczno-prywatnego, bodźce finansowe (Poskrobko 2011).

Z badań wynika, że zaledwie 13 ze 116 gmin woj. warmińsko-mazurskiego posiadało opracowania dotyczące wykorzystania OZE, w tym 5 (31,3%) z 16 gmin miejskich, 5 gmin wiejsko-miejskich (15,2% ogólnej ich liczby) i 3 z 67 gmin wiejskich (4,5%). Mimo niskiego poziomu zaangażowania samorządów lokalnych na rzecz wrażeń systemów zarządzania energią, można zauważyć, że generalnie ma miejsce spadek udziału konwencjonalnych źródeł energii.

Jak zaobserwowano, samorzady lokalne nie posiadają sprawnych systemów zarządzania energią, jednak ich przedstawiciele dostrzegają korzyści, jakie może uzyskać społeczność lokalna z tytułu wdrażania tego typu kompleksowych rozwiązań. Więcej niż 1/4 uczestników badań wskazało, iż do pozytywów należy zaliczyć (w kolejności):

- poprawę stanu środowiska naturalnego,
- możliwość tworzenia nowych miejsc pracy,
- poprawę wizerunku gminy jako miejsca o korzystnych walorach środowiskowych,

– obniżenie kosztów związanych z ogrzewaniem obiektów użyteczności publicznej.

W grupie wskazanych przez więcej niż 20% przedstawicieli samorządów lokalnych barier, które ograniczają wdrażanie systemowych rozwiązań na rzecz pozyskania OZE, znalazły się:

- wysokie koszty założenia plantacji upraw z przeznaczeniem na cele energetyczne,
- brak doświadczeń związanych z organizacją systemu zbioru i wykorzystania biomasy,
- występujące trudności dotyczące techniki zbioru i przetwarzania biomasy na energię,
- brak przekonania wśród mieszkańców gminy, że OZE może stać się dla nich atrakcyjną sferą zarówno aktywności gospodarczej, jak i jakości życia.

Jak zaobserwowano, praktyka zarządzania energią w gminach woj. warmińsko-mazurskiego nie ma charakteru systemowego, zaś podejmowane inicjatywy służą wdrażaniu doraźnych rozwiązań, które nie przynoszą długotrwałych ogólnospołecznych efektów. Potrzeba wypracowania na poziomie lokalnym nowych i skutecznych narzędzi zarządzania energią wynika z takich przesłanek, jak możliwość tworzenia w oparciu o rozwój OZE nowych miejsc pracy czy wzrost konkurencyjności lokalnej gospodarki i bezpieczeństwa energetycznego. Jednym z głównych argumentów na rzecz zorientowania strategii gminnych na wykorzystanie OZE jest także przyczynienie się do ochrony środowiska naturalnego.

W konkluzji należy stwierdzić, że w dalszej perspektywie działań na rzecz wykorzystania biomasy z produkcji polowej jako źródła energii i nowego obszaru aktywności podmiotów gospodarczych należy uwzględnić w ramach strategii i programów lokalnych rozwiązanie takich kwestii, jak:

- 1) możliwość długofalowej współpracy z istniejącymi ciepłowniami jako potencjalnymi odbiorcami biomasy;
- 2) potrzebę zintegrowania działań w skali ponadlokalnej (kilku gmin, powiatów) i wdrażania koncepcji służących organizacji systemów produkcji zbioru i wykorzystania biomasy na cele energetyczne;
- 3) zaangażowanie lokalnych społeczności na rzecz wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, w tym z biomasy oraz organizacji systemów jej pozyskania i przerobu ze względu na fakt, że energetyka biomasowa to nie tylko nowy kierunek zaspokajania potrzeb energetycznych, ale także sposób na aktywizację zawodową ludności i rozwój obszarów wiejskich.

Koncepcja wdrażania zintegrowanych lokalnych systemów pozyskania energii ze źródeł odnawialnych powinna obejmować:

- opracowanie programów lokalnych;
- zawiązanie lokalnych partnerstw na rzecz propagowania OZE, umoż-



liwiających wdrożenie innowacyjnych, aktywnych form działania z wykorzystaniem technologii informatycznych;

- zintensyfikowanie działań na rzecz rozwoju małych instalacji rozproszonych produkujących energię;
- stworzenie systemu logistyki i dystrybucji paliw z biomasy;
- popularyzowanie wiedzy na temat energetyki ekologicznej oraz poszanowania energii;
- prowadzenie monitoringu zasobów, nośników energii odnawialnej, a także liczby i rodzaju funkcjonujących instalacji.

## 5. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań upoważniają do stwierdzenia, że perspektywy rozwoju upraw roślin z przeznaczeniem na cele energetyczne zależą od wielu czynników, zarówno o charakterze wewnętrznym (dotyczących obecnego poziomu organizacji sektora rolniczego), jak i zewnętrznym, w tym od rozwiązań o charakterze prawnym. W opinii rolników bariery ograniczające rozwój produkcji w kierunku surowcowym na cele energetyczne mają głównie charakter ekonomiczny i dotyczą m.in. niskiego poziomu cen niegwarantujących opłacalności produkcji, braku stabilności tych cen oraz trudności ze sprzedażą surowca. Rolnicy zatem oczekują wsparcia, głównie w formie dopłat do powierzchni upraw, co ich zdaniem może poprawić opłacalność produkcji i jednocześnie zachęcić do jej podjęcia innych właścicieli gospodarstw rolnych. Oczywiście ważnym czynnikiem mającym wpływ na dalszy rozwój omawianego kierunku produkcji są wyraźnie sprecyzowane cele polityki energetycznej.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, iż pomimo wcześniej przyjętych dopłat do upraw roślin energetycznych, Unia Europejska w ramach wspólnej polityki rolnej wycofała się z tego typu wsparcia. Można sądzić, że pozyskanie nowych OZE wymaga nie tylko odpowiedniej polityki regulującej owe rynki, ale również wprowadzenia bodźców ekonomicznych, a przede wszystkim stworzenia sprawnego systemu przepływu informacji i wiedzy na ten temat. Wśród instytucji wspierających podmioty łańcucha produkcji i przetwórstwa biomasy na cele energetyczne najczęściej są wskazywane wojewódzkie ośrodki doradztwa rolniczego oraz agencje państwowe wspierające rozwój rolnictwa i obszarów wiejskich (np. ARiMR, ARR), a także samorządy lokalne i izby rolnicze.

Konkludując należy stwierdzić, że obecnie biomasa pochodzenia rolniczego jako odnawialne źródło energii jest wykorzystywana w niewielkim stopniu, pomimo znaczącego jej potencjału. Należy oczekiwać, że w perspektywie kilku najbliższych lat stanie się ona ważnym kierunkiem produkcji wielu gospodarstw rolnych. Warunkiem rozwoju tego typu aktywności jest jednak roz-

wiązanie problemu organizacji przetwórstwa biomasy oraz pogodzenia tego rodzaju produkcji ze sferą produkcji żywności.

W odniesieniu do wyzwań związanych z wielofunkcyjnym rozwojem rolnictwa rozstrzygnąć oczekują takie kwestie, jak:

- 1) ustalenie przejawów i form aktywności gospodarczej w zakresie pozyskania biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne;
- 2) zidentyfikowanie czynników ograniczających i zwiększających aktywność gospodarczą w sferze pozyskania i przerobu biomasy na cele energetyczne;
- 3) poznanie roli wsparcia instytucjonalnego w organizacji i we wdrażaniu efektywnych systemów produkcji energii w skali lokalnej.

## Piśmiennictwo

- Brodziński Z. (red.) 2011. *Stan obecny i perspektywy rozwoju obszarów wiejskich w woj. warmińsko-mazurskim do 2020 r.* Urząd Marszałkowski Woj. Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.
- Energia w gospodarstwie rolnym.* 2011. Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa.
- Gostomczyk W. 2009. *Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w kreowaniu rozwoju obszarów wiejskich i miejsc pracy.* W: *Energetyczne wykorzystanie biomasy w działalności gospodarczej.* Jasiulewicz M. (red.). Politechnika Koszalińska, Koszalin.
- Graczyk A.M. 2011. *Wybór technologii odnawialnych źródeł energii dostosowanych do warunków rozwoju Dolnego Śląska.* Prace Naukowe UE we Wrocławiu nr 231, Wrocław.
- Hoogwijk M.M. 2004. *On the global and regional potential of renewable energy sources.* Faculteit Scheikunde Universiteit Utrecht.
- Jasiulewicz M. 2012. *Możliwości aktywizacji obszarów wiejskich przez agroturystykę oraz produkcję surowców energetycznych w rolnictwie w subregionie koszalińskim.* Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum, 11(3): 89–96.
- Korycińska A. 2009. *Stan rozwoju sektora bioenergii. Odnawialne źródła energii nowym wyzwaniem dla obszarów wiejskich w Polsce.* Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA, Warszawa.
- Krajowy Plan Działania (KPD) w zakresie energii ze źródeł odnawialnych.* 2010. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Określenie potencjału energetycznego regionów Polski w zakresie odnawialnych źródeł energii – unioński dla RPO na okres programowania 2014–2020.* 2011. Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa.
- Pindór T., Preisner L. 2011. *Wykorzystanie wybranych odnawialnych źródeł energii w kontekście kryteriów rozwoju zrównoważonego.* Prace Naukowe UE we Wrocławiu, 231: 186–196.
- Poskrobko B. 2011. *System zarządzania energią w gminie jako narzędzie łagodzenia kryzysu ekologicznego,* Prace Naukowe UE we Wrocławiu, 231: 234–254.
- Reniger-Biłożor M., Goczyński K. 2011. *Efektywność zastosowania odnawialnych źródeł energii w gospodarce nieruchomościami mieszkaniowymi – część II.* Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum, 10(1): 73–85.
- Robles R., Dalia P. 2011. *Interactions between agriculture and energy policies: the case of Castile and Leon (Spain).* W: *Rural Development. The fifth international scientific conference.* A. Stulginskis University, Kaunas, 5(1): 222–228.

## ROZDZIAŁ 7

### **Prawne aspekty wspierania funkcjonowania biorafinerii w Polsce i niektórych państwach UE**

### **Legal aspects of supporting biorefineries in Poland and selected EU countries**

***Jakub Jan Zięty<sup>1</sup>, Michał Krzykowski<sup>1</sup>, Michał Mariański<sup>2</sup>,  
Aleksander Bauknecht<sup>3</sup>, Ewelina Olba-Zięty<sup>4</sup>***

<sup>1</sup> Katedra Prawa Gospodarczego

<sup>2</sup> Katedra Prawa Finansowego

<sup>3</sup> Katedra Powszechnej Historii Prawa, Prawa Rzymskiego i Komparatystyki Prawniczej

<sup>4</sup> Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: prawne aspekty budowy biorafinerii, wsparcie dla produkcji biopaliw, decyzja środowiskowa.

Key words: legal aspects of biorefineries construction, support for biofuels production, environmental decision.

#### Streszczenie

Biorafinerie w Polsce stanowią stosunkowo nową formę prowadzenia działalności gospodarczej. Przystępując do realizacji powyższego projektu, warto wcześniej zidentyfikować możliwe ryzyka prawne odnoszące się do budowy i funkcjonowania biorafinerii. Szczególnie istotne jest uzyskanie decyzji o środowiskowej zgodzie na realizację przedsięwzięcia, decyzji o warunkach zabudowy, pozwolenia na budowę, wpisu do rejestru producentów, jak też koncesji na produkcję paliwa. Należy przy tym zaznaczyć, że liczba koniecznych zezwoleń czy decyzji wzrasta wraz ze skalą przedsięwzięcia, zwiększeniem parametrów urządzeń służących do wytwarzania surowca czy ilości wytwarzanego alkoholu etylowego.

Celem artykułu było zbadanie i ocena prawnych uwarunkowań budowy biorafinerii oraz jej funkcjonowania w procesie eksploatacji na gruncie prawa polskiego. Uwagi prawnoporównawcze odnoszą się do systemów prawnych państw Unii Europejskiej, w szczególności prawa niemieckiego i francuskiego. Wybór ten podyktowany był potrzebą zestawienia polskie-

#### Summary

Biorefineries in Poland are relatively new form of economic activity, which can be applied not only to large agricultural producers, but also small farms. However the realization of the investment in biorafinery should identify possible constructional and operational risk. Among all, one could indicate such legal and formal requirements as: a decision on the environmental consent for the project, zoning or building permit, registration in the register of producers or concessions for fuel production. It should be noted that the level of required permits or decisions increases proportionally to the scale of the project, parameters of used equipment or the amount of ethanol production.

The aim of the article is to analysis and evaluate legal conditions of constructing biorefineries and its function in the process of exploitation according to Polish law. Comparative comments will refer to the legal systems of the European Union in particular German and French. The choice of Germany and France results from the necessity to compare Polish

go prawodawstwa z regulacjami prawnymi dwóch najbardziej wpływowych systemów prawnych Europy kontynentalnej. Ocena polskich rozwiązań prawnych może wskazać potencjalne kierunki zmian rodzimych przepisów tak, aby ułatwić funkcjonowanie systemu biorafinerii rolniczych w gospodarstwach rolnych.

legislation with the regulations of two most influential legal systems of Continental Europe. The evaluation of Polish legal solutions may point out potential trends of domestic law in order to facilitate functioning of the agricultural biorefinery for farms.

## **1. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii w Polsce – stan aktualny**

### **1.1. Wprowadzenie**

Biorafinerie w Polsce stanowią stosunkowo nową formę prowadzenia działalności gospodarczej. W literaturze terminem tym określa się najczęściej zakłady, w których – podobnie jak w rafineriach ropy naftowej – są stosowane zintegrowane procesy otrzymywania paliw, energii i chemikaliów z wykorzystaniem typowej aparatury procesowej. Biorafinerie te, wykorzystujące know-how przemysłu petrochemicznego, mogą być fragmentem lokalnego przemysłu przerabającego dostępną biomasę (Burczyk 2009).

Podmiot podejmujący się realizacji przedsięwzięcia polegającego na budowie systemu biorafinerii<sup>1</sup>, a następnie na prowadzeniu działalności w zakresie wytwarzania i sprzedaży bioetanolu będzie zmuszony do zmierzenia się z licznymi przeszkodami natury prawnej. W zależności od przyjętego modelu realizacji inwestycji, wielkości produkcji, a co za tym idzie – wielkości instalacji, przyjętej technologii produkcji, statusu podmiotu realizującego inwestycje spełnić trzeba szereg warunków formalnoprawnych. Każdy podmiot, który będzie zamierzał zrealizować budowę biorafinerii lignocelulozowej, musi mieć świadomość, że przepisy prawa regulują (w różnym stopniu szczegółowości) poszczególne etapy procesu inwestycyjnego, ale także prowadzenia działalności w zakresie wytwarzania bioetanolu. Niewiele osób może zdawać sobie sprawę z liczby koniecznych do uzyskania, a wymaganych prawem decyzji i zezwoleń. Warunki formalnoprawne realizowania inwestycji i prowadzenia działalności gospodarczej będą istotne również z punktu widzenia ewentualnych instytucji finansujących lub współfinansujących realizowany projekt. Znajomość procedur administracyjnych, które prowadzą do uzyskania m.in.: decyzji o środowis-

---

<sup>1</sup> Celowo w niniejszym opracowaniu posługujemy się pojęciem systemu biorafinerii, bowiem najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia rolnika indywidualnego, jak i producenta biopaliwa jest stworzenie zamkniętego „obiegu” surowców i produktów, z tym że te ostatnie w zależności od skali będą mogły być wykorzystane na własne potrzeby lub zbyte. W skład tak ujętego systemu będzie wchodziła nie tylko instalacja do wytwarzania bioetanolu, ale także produkcja substratu.

kowej zgodzie na realizację przedsięwzięcia, decyzji lokalizacyjnej pozwolenia na budowę, pozwolenia na użytkowanie budynku, pozwolenia na użytkowanie instalacji, zezwolenia na prowadzenie działalności, umożliwi zoptymalizowanie zamierzeń nie tylko pod względem czasu realizacji inwestycji, ale również jej kosztów, natomiast w przypadku podmiotów prowadzących działalność rolniczą czy leśną także własnych potrzeb.

## 1.2. Budowa biorafinerii lignocelulozowej

Proces budowy biorafinerii lignocelulozowej wymaga – jak już wspomniano – spełnienia szeregu wymogów prawnych. W toku procesu inwestycyjnego konieczne może okazać się uzyskanie m.in.: a) decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia<sup>2</sup>, b) decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu<sup>3</sup>, c) decyzji o pozwoleniu na budowę<sup>4</sup>, d) zgody na wyłączenie przeznaczonych do realizacji inwestycji gruntów z produkcji rolniczej<sup>5</sup>, e) pozwolenia wodnoprawnego<sup>6</sup>, f) pozwolenia

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (t.j. Dz. U. z 2013 r., poz. 1235 ze zm.) – dalej jako u.d.i. Przepisy tej ustawy implementują obowiązki wynikające z: 1) dyrektywy Rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 roku w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko naturalne (Dz. Urz. WE L 175 z 5.07.1985, s. 40, ze zm.; Dz. Urz. UE Polskie wyd. specj., rozdz. 15, t. 1, s. 248); 2) dyrektywy Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 roku w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (Dz. Urz. WE L 206 z 22.07.1992, s. 7, ze zm.; Dz. Urz. UE Polskie wyd. specj., rozdz. 15, t. 2, s. 102.); 3) dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/42/WE z dnia 27 czerwca 2001 roku w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko (Dz. Urz. WE L 197 z 21.07.2001, s. 30; Dz. Urz. UE Polskie wyd. specj., rozdz. 15, t. 6, s. 157); 4) dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/4/WE z dnia 28 stycznia 2003 roku w sprawie publicznego dostępu do informacji dotyczących środowiska i uchylającej dyrektywę Rady 90/313/EWG (Dz. Urz. WE L 41 z 14.02.2003, s. 26; Dz. Urz. UE Polskie wyd. specj., rozdz. 15, t. 7, s. 375); 5) dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/35/WE z dnia 26 maja 2003 roku przewidującej udział społeczeństwa w odniesieniu do sporządzania niektórych planów i programów w zakresie środowiska oraz zmieniającej w odniesieniu do udziału społeczeństwa i dostępu do wymiaru sprawiedliwości dyrektywy Rady 85/337/EWG i 96/61/WE (Dz. Urz. UE L 156 z 25.06.2003, s. 17; Dz. Urz. UE Polskie wyd. specj., rozdz. 15, t. 7, s. 466); 6) dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/1/WE z dnia 15 stycznia 2008 roku dotyczącej zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (Dz. Urz. UE L 24 z 29.01.2008, s. 8); 7) dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku ustanawiającej ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego określanej mianem dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (Dz. Urz. UE L 164 z 25.06.2008, s. 19).

<sup>3</sup> Ustawa z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (t.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 199 ze zm.) – dalej jako u.p.z.p.

<sup>4</sup> Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane (t.j. Dz. U. z 2013 r., poz. 1409 ze zm.) – dalej jako u.p.b.

<sup>5</sup> Ustawa z dnia 3 lutego 1995 roku o ochronie gruntów rolnych i leśnych (t.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 909) – dalej jako u.o.g.r.l.

<sup>6</sup> Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku – Prawo wodne (t.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 469).

zintegrowanego<sup>7</sup>, g) decyzji związanych z eksploatacją powstałego urządzenia<sup>8</sup>.

Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia (dalej: decyzja środowiskowa) jest jednym z podstawowych instrumentów prawnych zarządzania ochroną środowiska<sup>9</sup>. Chodzi bowiem o przewidywanie potencjalnych zagrożeń środowiskowych i ich skali już na etapie planowania inwestycji. Organ administracji publicznej wymaga zatem dostarczenia informacji, czy ingerencja w środowisko została zaplanowana w sposób optymalny, pozwalający na zminimalizowanie ewentualnych strat w środowisku, a także czy jej realizacja zrekompensuje te straty. W konsekwencji możliwe jest uwzględnienie w toku inwestycji rozwiązań minimalizujących negatywne skutki realizacji inwestycji dla środowiska (Korzeniowski 2012).

Uzyskanie decyzji może być niezbędne w przypadku, gdy do realizacji inwestycji biorafinerii lignocelulozowej okaże się konieczna budowa, rozbudowa lub przebudowa obiektów budowanych, w których można umieścić instalacje. Konieczność przeprowadzenia postępowania wystąpi także wówczas, gdy inwestycja będzie polegała tylko na wykonaniu instalacji, w której będą przeprowadzane procesy produkcyjne. Należy zastrzec, że planowana inwestycja musi być zgodna z przeznaczeniem terenu, na jakim ma zostać zrealizowana<sup>10</sup>.

Ocenę oddziaływania na środowisko, a w tym przypadku środowisko jest rozumiane szeroko, tzn. nie tylko jako przyrodnicze, ale także społeczne, przeprowadza się w toku: a) postępowania w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, b) postępowania w sprawie wydania decyzji inwestycyjnych, tj. pozwolenia na budowę, zatwierdzenia projektu budowlanego, pozwolenia na wznowienie robót budowlanych, pozwolenia na zmianę sposobu użytkowania obiektu budowlanego lub jego części, zezwolenia na realizację inwestycji drogowej itp. Postępowanie w sprawie oceny oddziaływania na środowisko przeprowadza się w sprawach wskazanych w punkcie b, o ile konieczność przeprowadzenia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko została stwierdzona przez organ właściwy do wydania decyzji o środowis-

---

<sup>7</sup> Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz. U. z 2013 r., poz. 1232 ze zm.) – dalej jako u.o.ś.

<sup>8</sup> Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 roku o dozorze technicznym (t.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 1125).

<sup>9</sup> Warto pamiętać, że przeprowadzenie procedury oceny inwestycji na środowisko może być wymagane przy ubieganiu się o dofinansowanie projektu z funduszy Unii Europejskiej, co wynika z rozporządzenia Rady 1083/2006 z 11 lipca 2006 roku ustanawiającego przepisy ogólne dotyczące Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1260/1999 – zgodność ze wspólnotową polityką ochrony środowiska. Zob. też wyjaśnienie umieszczone na stronie Ministerstwa Rozwoju Regionalnego pod adresem: <[www.mrr.gov.pl/fundusze/fundusze\\_europejskie/oos/strony/ocena\\_oddziaływania\\_na\\_srodowisko.aspx](http://www.mrr.gov.pl/fundusze/fundusze_europejskie/oos/strony/ocena_oddziaływania_na_srodowisko.aspx)>.

<sup>10</sup> Szerzej na temat określenia przeznaczenia nieruchomości zob. pkt 1.3.

kowych uwarunkowaniach oraz w przypadku przeprowadzenia ponownej oceny – na wniosek inwestora albo w przypadku, gdy organ właściwy w sprawie stwierdził, że we wniosku o wydanie decyzji zostały dokonane zmiany w stosunku do wymagań określonych w decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach.

Ocenę oddziaływania na środowisko przeprowadza się w ramach postępowań wskazanych w ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, tj. w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach lub postępowaniach wskazanych w art. 72 ust. 1 pkt 1, 10, 14 i 18 w zw. z art. 61 u.d.i. W ramach ww. oceny określa się, analizuje oraz ocenia kilka elementów, w tym:

- 1) bezpośredni i pośredni wpływ danego przedsięwzięcia na środowisko oraz zdrowie i warunki życia ludzi, b) dobra materialne, c) zabytki, d) wzajemne oddziaływanie między elementami, o których mowa w lit. a–c, d) dostępność do złóż kopalin;
- 2) możliwości oraz sposoby zapobiegania i zmniejszania negatywnego oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko;
- 3) wymagany zakres monitoringu.

W ramach oceny oddziaływania przedsięwzięcia na obszar Natura 2000 określa się, analizuje oraz ocenia, biorąc pod uwagę także skumulowane oddziaływanie przedsięwzięcia z innymi przedsięwzięciami.

Uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach następuje zgodnie z art. 71 u.d.i. m.in. przed:

- a) uzyskaniem decyzji o pozwoleniu na budowę, decyzji o zatwierdzeniu projektu budowlanego, decyzji o pozwoleniu na wznowienie robót budowlanych oraz decyzji o pozwoleniu na zmianę sposobu użytkowania obiektu budowlanego lub jego części – wydawanych na podstawie u.p.b.;
- b) decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu – wydawanej na podstawie u.p.z.p.

Decyzję środowiskową dołącza się do wniosku o wydanie wymienionych wyżej decyzji administracyjnych, przy czym złożenie tego wniosku powinno nastąpić co do zasady nie później niż w terminie czterech lat od dnia, w którym decyzja stała się ostateczna. Ustawodawca określając, jakie przedsięwzięcia będą wymagać uzyskania decyzji środowiskowej, podzielił je na dwie kategorie. Zgodnie z art. 59 ust. 1 u.d.i., przeprowadzenia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko wymaga realizacja: (1) planowanego przedsięwzięcia mogącego zawsze znacząco oddziaływać na środowisko oraz (2) planowanego przedsięwzięcia mogącego potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Ocenę oddziaływania na środowisko dla przedsięwzięcia mogącego potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko przeprowadza się w przypadku, gdy taki obowiązek zostanie nałożony przez organ właściwy do wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach.

Warto zaznaczyć, że niezależnie od powyższej kwalifikacji realizacja planowanego przedsięwzięcia innego niż wymienione w punkcie 1 i 2 będzie wymagana dla inwestycji mogących oddziaływać na obszar Natura 2000. W tych przypadkach postępowanie będzie musiało być przeprowadzone, jeżeli planowane przedsięwzięcie: (1) może znacząco oddziaływać na obszar Natura 2000, a nie jest bezpośrednio związane z ochroną tego obszaru lub nie wynika z tej ochrony; (2) obowiązek przeprowadzenia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na obszar Natura 2000 został stwierdzony na podstawie art. 96 ust. 1 u.d.i. przez właściwy organ.

Jak wcześniej wskazano, uzyskanie decyzji środowiskowej jest niezbędne dla przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Kwalifikacja inwestycji do tej kategorii następuje na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 roku w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko<sup>12</sup>. Rozporządzenie to określa rodzaje przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko, jak też przypadki, w których zmiany dokonywane w obiektach są kwalifikowane jako przedsięwzięcia, o których mowa w pkt 1 i 2.

Instalacje do przetwarzania celulozy zostały zgodnie z § 3 ust. 2 pkt 30 wymienionego rozporządzenia zaliczone do przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko i bez znaczenia jest ilość przerabianej celulozy. Wobec takiej kwalifikacji należy przed przystąpieniem do budowy biorafinerii lignocelulozowej wystąpić do właściwego organu celem ustalenia, zgodnie z art. 63, czy istnieje obowiązek przeprowadzenia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Warto zaznaczyć, że na właściwą kwalifikację będzie miał wpływ nie tylko sam surowiec użyty do produkcji etanolu, ale także inne parametry projektowanej inwestycji. Tym samym szansa na kwalifikację inwestycji jako mogącej potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko jest – jak się wydaje – minimalna. Należy się więc liczyć z tym, że po przeanalizowaniu całej inwestycji okaże się, że należy ją zakwalifikować jako przedsięwzięcie mogące zawsze znacząco oddziaływać na środowisko. W przypadku tej ostatniej kwalifikacji istnieje obowiązek sporządzenia pełnego raportu oddziaływania na środowisko, choć organ ewentualnie może odstąpić od konieczności sporządzenia takiego raportu lub ograniczyć jego zakres.

Kolejnym etapem formalnoprawnym budowy instalacji po uzyskaniu decyzji środowiskowej jest określenie przeznaczenia nieruchomości. Zgodnie z u.p.z.p. określenie takie znajduje się w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego<sup>13</sup>, który jest aktem prawa miejscowego kształtującym treść

<sup>12</sup> Dz. U. z 2010 r., nr 213, poz. 1397.

<sup>13</sup> Dalej jako m.p.z.p.



wykonywania prawa własności (Nowak 2012). Plan ów wskazuje przeznaczenie terenów oraz sposób ich zabudowy i zagospodarowania, określając w sposób szczegółowy możliwość realizacji określonych inwestycji dla danego terenu. W przypadku, gdy nie zostanie wskazana w jego treści możliwość realizacji biorefinerii, inwestycja tego typu nie będzie mogła być realizowana bez zmiany postanowień m.p.z.p. Zgodność inwestycji z m.p.z.p. obejmuje nie tylko nową budowę, ale także rozbudowę istniejących budynków czy wykorzystywanie ich bez przebudowy na cele instalacji biorafinerii. Procedura uchwalenia m.p.z.p. lub jego zmiany jest długotrwała, dlatego też większość inwestorów preferuje określanie dopuszczalności realizacji inwestycji w ramach decyzji o warunkach zabudowy. Warto jednak pamiętać, że zarówno decyzja o warunkach zabudowy, jak i m.p.z.p. nie mogą być sprzeczne z dokumentem strategicznym w zakresie planowania przestrzennego gminy, jakim jest studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, które kształtuje politykę przestrzenną gminy. Tym samym dokument ten, przyjmowany w drodze uchwały przez organ stanowiący gminy, nie powinien zawierać zakazów w zakresie budowy biorafinerii lignocelulozowych lub innych wyłączeń o podobnym charakterze.

Jeżeli dla danego terenu nie uchwalono m.p.z.p., określenie sposobów zagospodarowania i warunków zabudowy następuje w drodze decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego, a dla pozostałych – decyzji o warunkach zabudowy. Jako że budowa biorafinerii nie będzie mogła być klasyfikowana jako inwestycja celu publicznego, podstawą jej rozpoczęcia musi być decyzja o warunkach zabudowy. Jej uzyskanie jest konieczne w przypadku budowy obiektu budowlanego lub wykonywaniu innych robót budowlanych, a nawet zmiany sposobu użytkowania obiektu budowlanego lub jego części (art. 59 u.p.z.p.). Tym samym przystępując do realizacji prac budowlanych związanych z budową biorafinerii lub do prac modernizacyjnych czy też do zmiany sposobu korzystania z części budynków na realizację instalacji biorafinerii, należy wystąpić do właściwego miejscowo wójta, burmistrza czy prezydenta miasta o wydanie przedmiotowej decyzji. Decyzja może zostać wydana, jeżeli spełnione zostaną warunki ustawowe, w tym te wskazane w art. 61 ust. 1 u.p.z.p.:

a) co najmniej jedna działka sąsiednia, dostępna z tej samej drogi publicznej, jest zabudowana w sposób pozwalający na określenie wymagań dotyczących nowej zabudowy w zakresie kontynuacji funkcji, parametrów, cech i wskaźników kształtowania zabudowy oraz zagospodarowania terenu, w tym gabarytów i formy architektonicznej obiektów budowlanych, linii zabudowy oraz intensywności wykorzystania terenu;

b) teren ma dostęp do drogi publicznej;

c) istniejące lub projektowane uzbrojenie terenu (z uwzględnieniem ust. 5) jest wystarczające dla zamierzenia budowlanego;

d) teren nie wymaga uzyskania zgody na zmianę przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych na cele nierolnicze i nieleśne albo jest objęty zgodą uzyskaną przy sporządzaniu miejscowych planów, które przestały obowiązywać z mocy prawa;

e) decyzja jest zgodna z przepisami odrębnymi.

Sama decyzja może zostać wydana każdemu wnioskodawcy, nie rodzi ona bowiem prawa do terenu, a jedynie potwierdza, że danego rodzaju przedsięwzięcie może być zrealizowane na danym obszarze. Jeżeli więc zamierzeniem będzie budowa nowej instalacji, to z dużą dozą prawdopodobieństwa przyjąć należy, że konieczne będzie uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy dla inwestycji polegającej na budowie biorafinerii lignocelulozowej. Wydana decyzja o warunkach zabudowy będzie określać:

1) rodzaj inwestycji;

2) warunki i szczegółowe zasady zagospodarowania terenu oraz jego zabudowy wynikające z przepisów odrębnych (w szczególności w zakresie: warunków i wymagań ochrony i kształtowania ładu przestrzennego, ochrony środowiska i zdrowia ludzi oraz dziedzictwa kulturowego i zabytków oraz dóbr kultury współczesnej, obsługi w zakresie infrastruktury technicznej i komunikacji, wymagań dotyczących ochrony interesów osób trzecich, ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych);

c) linie rozgraniczające teren inwestycji.

Kolejny etap zamyka pozyskane pozwolenia na budowę lub przebudowę, którą reguluje u.p.b. Każdy obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Przepisy u.p.b. przewidują, że prace budowlane można rozpocząć w zależności od ich zakresu i rodzaju albo na podstawie decyzji o pozwoleniu na budowę albo na podstawie zgłoszenia. W określonych w art. 29 u.p.b. sytuacjach dopuszczalne jest prowadzenie prac budowlanych bez konieczności uzyskiwania pozwolenia na budowę czy zgłoszenia przystąpienia do realizacji prac. W zależności od realizowanego obiektu organ administracji wydaje decyzje o pozwoleniu na budowę. W przypadku natomiast przyjęcia zgłoszenia organ może zgłosić sprzeciw, który powoduje, że inwestycja nie może być realizowana. Po uzyskaniu właściwych decyzji lub braku sprzeciwu inwestor może przystąpić do prowadzenia budowy. Po zakończeniu procesu budowy lub przebudowy należy inwestycję zgłosić do właściwego inspektora nadzoru budowlanego celem przyjęcia inwestycji do użytkowania.

Realizacja inwestycji obejmującej budowę biorafinerii lignocelulozowej może też wiązać się z uzyskaniem zgody na wyłączenie gruntów z produkcji rolniczej lub leśnej, co regulują przepisy ustawy o ochronie gruntów rolnych

i leśnych. Powyższa ustawa zawiera dość szeroką definicję gruntów rolnych. Zgodnie z art. 2 ust. 1, są to grunty: określone w ewidencji gruntów jako użytki rolne; pod stawami rybnymi i innymi zbiornikami wodnymi, służącymi wyłącznie dla potrzeb rolnictwa; pod wchodzącymi w skład gospodarstw rolnych budynkami mieszkalnymi oraz innymi budynkami i urządzeniami służącymi wyłącznie produkcji rolniczej oraz przetwórstwu rolno-spożywczemu; pod budynkami i urządzeniami służącymi bezpośrednio do produkcji rolniczej uznanej za dział specjalny, stosownie do przepisów o podatku dochodowym od osób fizycznych i podatku dochodowym od osób prawnych; grunty parków wiejskich oraz pod zadrzewieniami i zakrzewieniami śródpolnymi, w tym również pod pasami przeciwwietrznymi i urządzeniami przeciwerozrywającymi; grunty pracowniczych ogrodów działkowych i ogrodów botanicznych; pod urządzeniami: melioracji wodnych, przeciwpowodziowych i przeciwpożarowych, zaopatrzenia rolnictwa w wodę, kanalizacji oraz utylizacji ścieków i odpadów dla potrzeb rolnictwa i mieszkańców wsi; zrekultywowane dla potrzeb rolnictwa; torfowisk i oczek wodnych; pod drogami dojazdowymi do gruntów rolnych. Z kolei za grunt leśny uznaje się w świetle komentowanej ustawy grunty: określone jako lasy w przepisach o lasach; zrekultywowane dla potrzeb gospodarki leśnej; pod drogami dojazdowymi do gruntów leśnych.

Właściwym organem w sprawie wyłączenia gruntów z produkcji rolnej jest co do zasady właściwy ze względu na położenie nieruchomości starosta, a w stosunku do gruntów leśnych – dyrektor regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych, z wyjątkiem obszarów parków narodowych, gdzie właściwym organem jest dyrektor parku. Wydana decyzja o wyłączeniu gruntów rolnych lub leśnych określa również należność i opłaty roczne, a w odniesieniu do gruntów leśnych – także jednorazowe odszkodowanie w razie dokonania przedwczesnego wyrębu drzewostanu. Wartość opłat będzie uzależniona od klasy gruntu, a w przypadku lasów – od wieku drzew i ich rodzaju. Niestety, budowa biorafinerii nie jest obecnie uznawana za związaną z produkcją rolniczą, co skutkuje tym, że uzyskane wyłączenia będą wymagane nawet w przypadku rolników.

W zależności od skali planowanej inwestycji konieczne może okazać się również uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego, zarówno w zakresie poboru wody do procesów technologicznych, gromadzenia ścieków poprodukcyjnych, tudzież innych materiałów i substancji powstałych w procesie produkcji bioetanolu. W przypadku biorafinerii może wystąpić także (w zależności od zastosowanej technologii) potrzeba uzyskania pozwolenia zintegrowanego. Szczegółowo problematykę tę normuje rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 sierpnia 2014 roku<sup>14</sup>. Pozwolenia zintegrowanego wymaga prowadze-

<sup>14</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 sierpnia 2014 roku w sprawie rodzajów

nie instalacji, której funkcjonowanie, ze względu na rodzaj i skalę prowadzonej w niej działalności, może powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości.

W końcu po przeprowadzeniu procesu inwestycyjnego i budowlanego niezbędne będzie uzyskanie dopuszczenia do eksploatacji biorafinerii, co wiąże się z koniecznością zastosowania właściwego dozoru technicznego. Problematykę tę regulują przepisy ustawy z dnia 21 grudnia 2000 roku o dozorcze technicznym<sup>15</sup>. Zgodnie z jej przepisami dozorem objęte są urządzenia techniczne w toku ich projektowania, wytwarzania, w tym wytwarzania materiałów i elementów, naprawy i modernizacji, obrotu oraz eksploatacji (wyłączone spod dozoru są jednak urządzenia techniczne, nad którymi są prowadzone prace naukowo-badawcze). Przez urządzenia techniczne należy rozumieć urządzenia, które mogą stwarzać zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzkiego oraz mienia i środowiska wskutek rozprężenia cieczy lub gazów znajdujących się pod ciśnieniem różnym od atmosferycznego, wyzwolenia energii potencjalnej lub kinetycznej przy przemieszczaniu ludzi lub ładunków w ograniczonym zasięgu, jak też rozprzestrzeniania się materiałów niebezpiecznych podczas ich magazynowania lub transportu. Szczegółowy wykaz urządzeń technicznych wymagających dozoru określa rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2013 roku<sup>16</sup>. W przypadku, gdy dana instalacja będzie spełniać określone w ww. rozporządzeniu warunki techniczne, konieczne będzie objęcie jej dozorem technicznym już na etapie projektowania. W takim przypadku formę nadzoru ustala się przy uzgodnieniu instalacji technicznej przez organ dozoru technicznego. Po zakończeniu inwestycji wykonane urządzenia należy odebrać przez jednostkę dozującą. Warto również pamiętać, że użytkownik, którego instalacja zostanie uznana za urządzenie o dużym ryzyku pożarowym, będzie zobowiązany do zgłoszenia zakładu właściwemu organowi Państwowej Straży Pożarnej oraz poinformowania wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska na 30 dni przed uruchomieniem zakładu.

Przedstawione wyżej prawne podstawy realizacji budowy biorafinerii stanowią w ocenie autorów dość dużą barierę w szerszym wykorzystaniu systemu biorafinerii przez rolników indywidualnych. Dość skomplikowany, czasochłonny i zarazem drogi proces uzyskiwania pozwoleń i decyzji, przy braku publicznego wsparcia w jego przeprowadzeniu, powoduje, że należy zaangażować stosunkowo duże siły, aby doszło do uzyskania wymaganych prawem decyzji koniecznych do rozpoczęcia budowy. Przedstawiona wyżej procedura nie obe-

---

instalacji mogących powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości (Dz. U. z 2014 r., poz. 1169).

<sup>15</sup> T.j. Dz. U. z 2013 r., poz. 963 ze zm.

<sup>16</sup> Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2013 roku w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz. U. z 2014 r., poz. 111 ze zm.).

jmuje wszak jeszcze czasu związanego z budową instalacji i rozpoczęciem jej funkcjonowania. Już w tym momencie należy wskazać, że w zakresie wsparcia budowy biorafinerii rolniczych, jeżeli chcemy aby mogły one się rozwijać, konieczne będzie skrócenie procedur administracyjnych dla wszystkich lub wybranych podmiotów.

### **1.3. Prawne reguły produkcji bioetanolu w Polsce**

Podstawę prawną dla produkcji bioetanolu na terytorium RP stanowi ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 roku o biokomponentach i biopaliwach ciekłych<sup>17</sup>, która jest następstwem implementacji do krajowego porządku dyrektywy PE i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE<sup>18</sup>. Zakres ustawy obejmuje wykonywanie działalności gospodarczej w zakresie: wytwarzania biokomponentów, importu lub nabycia wewnątrzspółnotowego biokomponentów, wytwarzania przez rolników biopaliw ciekłych na własny użytek, wprowadzania do obrotu biokomponentów i biopaliw ciekłych oraz określania i realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego, potwierdzania spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju, udzielania zgody na korzystanie z uznanego systemu certyfikacji, wydawania certyfikatów, przeprowadzania kontroli, sporządzania sprawozdawczości i trybu przedkładania sprawozdań<sup>19</sup>.

W świetle definicji wynikającej z omawianego aktu prawnego bioetanol to „alkohol etylowy wytwarzany z biomasy, w tym bioetanol zawarty w eterze etylo-tert-butylovym lub eterze etylo-tert-amylovym; za biomasę do wytwarzania bioetanolu nie uznaje się alkoholu etylowego zawierającego powyżej 96% objętościowo alkoholu”<sup>20</sup>. Jednocześnie należy zauważyć, że ustawodawca krajowy posługuje się pojęciem „bioetanol” także w kontekście szerszych kategorii, tj. biopaliw ciekłych, do których zaliczany jest ester, bioetanol, biometanol, dimetyloeter i czysty olej roślinny (stanowiących samoistne paliwa)<sup>21</sup>, oraz biokomponentów, do których zaliczany jest bioetanol, biometanol, ester, dimetyloeter, czysty olej roślinny oraz węglowodory syntetyczne<sup>22</sup>. Warto przy tym podkreślić, że biopaliwa ciekłe, a tym samym bioetanol w świetle powoływanej ustawy nie mogą zostać zaliczone do biomasy, której spalanie w procesie wytwarzania energii stanowi przesłankę do uzyskania świadectw

<sup>17</sup> T.j. Dz. U. z 2014 r., poz. 1643 ze zm. – dalej jako uobib.

<sup>18</sup> Dz. Urz. UE z 5 czerwca 2009 r. (L 140/16).

<sup>19</sup> Art. 1 ust. 1 uobib.

<sup>20</sup> Art. 2 pkt 4 uobib.

<sup>21</sup> Art. 2 pkt 11 uobib.

<sup>22</sup> Art. 2 pkt 3 uobib.

pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych. Jednocześnie czysty, nieuszlachetniony olej roślinny można zaliczyć do biomasy na cele energetyczne.

Prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania biokomponentów, a następnie ich sprzedaży lub zbycia w innej formie lub przeznaczenia ich do wytworzenia przez wytwórcę paliw ciekłych lub biopaliw jest działalnością regulowaną w rozumieniu przepisów ustawy o swobodzie działalności gospodarczej<sup>23</sup> i wymaga wpisu do rejestru wytwórców, który prowadzi i udostępnia Prezes Agencji Rynku Rolnego<sup>24</sup>. Zgodnie z art. 5 uobib, wpis do rejestru uzależniony jest od kumulatywnego spełnienia następujących przesłanek: posiadania tytułu prawnego do obiektów budowlanych, w których będzie wykonywana działalność gospodarcza (np. prawa własności ale również umowy najmu dzierżawy); dysponowania odpowiednimi urządzeniami technicznymi i obiektami budowlanymi, spełniającymi wymagania określone w szczególności w przepisach o ochronie przeciwpożarowej, sanitarnych i o ochronie środowiska, umożliwiającymi prawidłowe wykonywanie działalności gospodarczej; posiadania zezwolenie na prowadzenie składu podatkowego<sup>25</sup>.

W przypadku rolników ustawodawca dopuścił, aby produkowali oni biopaliwa ciekłe na własny użytek. Są oni jednak obowiązani uzyskać wpis do prowadzonego przez Prezesa ARR rejestru rolników wytwarzających biopaliwa ciekłe na własny użytek, który wiąże się ze spełnieniem warunków zbliżonych, choć mniej rygorystycznych niż wymagane od wytwórców biokomponentów, tj. dysponować odpowiednimi urządzeniami technicznymi i obiektami budowlanymi, spełniającymi wymagania określone w szczególności w przepisach o ochronie przeciwpożarowej, sanitarnych i o ochronie środowiska, umożliwiającymi prawidłowe wytwarzanie biopaliw ciekłych; posiadać zezwolenia na prowadzenie składu podatkowego<sup>26</sup>.

Utrudnieniem dla produkcji bioetanolu może być nałożony przez ustawodawcę obowiązek produkcji i magazynowania biopaliw w składzie podatkowym (ze względu na objęcie tego towaru podatkiem akcyzowym). W praktyce oznacza to, że zanim przedsiębiorca (lub rolnik) wystąpi o zezwolenie na prowadzenie składu podatkowego do właściwego miejscowo

<sup>23</sup> Ustawa z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej (t.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 584).

<sup>24</sup> Art. 4 ust. 2 uobib.

<sup>25</sup> Z pewnym zastrzeżeniem, gdyż art. 5 ust. 2 uobib stanowi: „Działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania biokomponentów, a następnie ich sprzedaży lub zbycia w innej formie, lub przeznaczenia do wytworzenia przez wytwórcę paliw ciekłych lub biopaliw ciekłych, może wykonywać wytwórca, który nie był karany za przestępstwo skarbowe, przestępstwo przeciwko mieniu, wiarygodności dokumentów, a także przeciwko obrotowi pieniędzmi i papierami wartościowymi oraz obrotowi gospodarczemu, a w przypadku wytwórcy będącego osobą prawną lub jednostką organizacyjną niebędącą osobą prawną, której odrębna ustawa przyznaje zdolność prawną – którego odpowiednio członkowie zarządu albo osoby uprawnione do reprezentowania nie były karane za te przestępstwa”.

<sup>26</sup> Art. 14 ust. 1 uobib.

naczelnika urzędu celnego<sup>27</sup>, powinien zabezpieczyć odpowiednią infrastrukturę techniczną, tj. dysponować odpowiednimi maszynami, zbiornikami na paliwo, ogrodzonym terenem, a także wypełnić określone wymogi formalne, np. sformułować regulamin funkcjonowania składu podatkowego czy odpowiednio oznaczyć skład podatkowy<sup>28</sup>. Warunki te mogą stanowić istotną barierę zniechęcającą do prowadzenia omawianej działalności – szczególnie w przypadku rolników.

Nie sposób także pominąć, że realizowana przez wytwórcę/rolnika produkcja biopaliw podlega kontroli zgodnie z ustawą z dnia 25 sierpnia 2006 roku o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw<sup>29</sup>. Przepisy tej ustawy określają zasady organizacji i działania systemu monitorowania i kontrolowania jakości paliw przeznaczonych do stosowania m.in. przez rolników na potrzeby własne. Wytwarzane biopaliwa powinny zatem spełniać wymagania (normy) rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 22 stycznia 2007 roku<sup>30</sup>. Dla rolników produkujących na własne potrzeby ustawodawca wprowadził roczny limit produkcji biopaliw. Dla estru, czystego oleju roślinnego oraz biowęglowodorów ciekłych stanowiących samoistne paliwo roczny limit wynosi 100 litrów na hektar powierzchni użytków rolnych będących w posiadaniu rolnika w dniu 1 stycznia roku, którego dotyczy limit. Dla biopaliw ciekłych: bioetanolu, biometanolu, bioeteru dimetylowego, biobutanolu, biowodoru, bio propanu-butanu, skroplonego biometanu, sprężonego biometanu oraz biowęglowodorów ciekłych, a także biopaliw, o których mowa w art. 2 ust. 2 ustawy o biopaliwach – roczny limit ustala się jako objętość odpowiadająca pod względem wartości opałowej 100 litrom oleju napędowego, oznaczonego kodem CN 2710 19 43, na hektar powierzchni użytków rolnych będących w posiadaniu rolnika w dniu 1 stycznia roku, którego dotyczy limit.

Z powyższego wynika zatem, że nie tylko budowa instalacji systemu biorafinerii jest objęta utrudnieniami formalnoprawnymi, ale także sama produkcja biopaliw. Ulgowe potraktowanie rolników produkujących bioetanol na własne potrzeby nie wydaje się zatem wystarczającą zachętą. Świadczą o tym dane, które wskazują, że od 2011 roku zaledwie czterech rolników zadeklarowało produkcję biopaliw na własne potrzeby<sup>31</sup>.

<sup>27</sup> Art. 49 ust. ustawy z dnia 6 grudnia 2008 r. o podatku akcyzowym (t.j. Dz. U. z 2014 r., poz. 752 ze zm.).

<sup>28</sup> Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 24 lutego 2009 r. w sprawie warunków prowadzenia składów podatkowych oraz ewidencji przez podmioty prowadzące składy podatkowe (t.j. Dz. U. z 2014 r., poz. 353 ze zm.).

<sup>29</sup> T.j. Dz. U. z 2014 r., poz. 1058 ze zm.

<sup>30</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 stycznia 2007 roku w sprawie wymagań jakościowych dla biopaliw ciekłych stosowanych w wybranych flotach oraz wytwarzanych przez rolników na własny użytek (Dz. U. nr 24, poz. 149 ze zm.).

<sup>31</sup> Najwyższa Izba Kontroli, *Informacja o wynikach kontroli: Stosowanie biopaliw i biokomponentów w transporcie*, KGP-4101-01-00/2013.

## 1.4. Wsparcie dla produkcji biopaliw w Polsce i wybranych krajach Unii Europejskiej

W świetle „Wieloletniego programu promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014”<sup>32</sup>, który stanowił wypełnienie przez Polskę obowiązków przewidzianych w dyrektywie 2003/30/WE, założono, że udział biokomponentów w krajowym rynku paliw transportowych w 2010 roku osiągnie poziom 5,75%, a docelowo w 2020 roku – 10%. Najnowsza nowelizacja ustawy o biokomponentach i biopaliwach z marca 2014 roku<sup>33</sup> potwierdza powyższe założenia, ustanawiając cel wynikający z dyrektywy 2009/28/WE na poziomie 10% udziału energii odnawialnej w transporcie do 2020 roku (w części dotyczącej realizacji tego celu, która zgodnie z postanowieniami „Krajowego planu działań w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”, przyjętego przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 roku, będzie wykonana za pomocą biokomponentów i biopaliw ciekłych wykorzystywanych w transporcie oraz przepisami dotyczącymi wprowadzenia kryteriów zrównoważonego rozwoju obowiązujących dla biokomponentów i biopaliw ciekłych). Pewnym novum stanowi natomiast premiowanie biopaliw wytwarzanych z odpadów i produktów nieżywnościowych, czyli tzw. biopaliw drugiej generacji. Zmiana podejścia w tym zakresie podyktowana była m.in. wzrostem cen żywności. Wymóg stosowania biopaliw w transporcie wpływał bowiem na zwiększone przetwarzanie zbóż i roślin oleistych na dodatki do benzyny i oleju napędowego zamiast w celach żywnościowych.

Dotychczas krajowy system wsparcia oparty był zasadniczo na obniżonych stawkach akcyzy dla paliw silnikowych z udziałem biokomponentów i dla biokomponentów stanowiących samoistne paliwa przeznaczone do napędu silników spalinowych oraz podatku dochodowego od osób prawnych<sup>34</sup>. Ostatecznie jednak system ten przestał obowiązywać. Jak argumentował Minister Gospodarki, wsparcie dla biokomponentów oraz paliw silnikowych z udziałem biokomponentów w omawianej postaci stanowi pomoc publiczną, która wymaga notyfikacji Komisji Europejskiej, zgodnie z art. 108 ust. 3 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej. Zgodnie bowiem z art. 107 ust. 1 traktatu

<sup>32</sup> Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 24 lipca 2007 roku (M.P. nr 53, poz. 607).

<sup>33</sup> Dz. U. z 2014 r., poz. 457.

<sup>34</sup> W nowelizowanej uoib przedsiębiorcy wykonujący działalność gospodarczą w zakresie wprowadzania do obrotu na stacjach paliwowych benzyn silnikowych zawierających od 0,5% do 10% objętościowo bioetanolu lub od 15% do 22% objętościowo etylo-ter-butylowego lub etylo-ter-amylowego będą obowiązani wprowadzać do obrotu na stacjach również benzyny silnikowe o zawartości: tlenu (do 2,7% masy) oraz bioetanolu (do 5,0% objętościowo) lub eteru etylo-ter-butylowego, ewentualnie etylo-ter-amylowego (do 15% objętościowo). W kwestii natomiast biopaliw ustawa umożliwia wprowadzenie do obrotu na stacjach paliwowych benzyn silnikowych do 10% bioetanolu (dotychczas 5%) lub do 22% objętościowo eteru etylo-ter-butylowego lub etylo-ter-amylowego.



„wszelka pomoc przyznawana przez państwo członkowskie lub przy użyciu zasobów państwowych w jakiegokolwiek formie, która zakłóca lub grozi zakłóceniem konkurencji poprzez sprzyjanie niektórym przedsiębiorstwom lub produkcji niektórych towarów, jest niezgodna z rynkiem wewnętrznym w zakresie, w jakim wpływa na wymianę handlową między państwami członkowskimi”. Należy zauważyć, że państwa członkowskie, wspomagając określone przedsiębiorstwa lub wybrane gałęzie gospodarki (w postaci np. subsydiów czy ulg podatkowych), przyczyniają się do zakłócenia konkurencji na wspólnym rynku. Celem takich działań jest najczęściej ukryte dofinansowanie przedsiębiorstw, co miałyby je uchronić przed upadłością lub przejęciem przez podmioty z innych państw członkowskich. W szczególności z tego rodzaju pomocą mamy do czynienia w obszarach strategicznych dla bezpieczeństwa państwa, do których niewątpliwie zaliczany jest sektor energetyczny. Równocześnie trzeba podnieść, że zakaz przyznawania pomocy publicznej nie ma charakteru bezwzględnego. W toku omawiania ogólnych zasad pomocy publicznej można wskazać na dwa rodzaje wyłączeń od zakazu udzielania pomocy publicznej, a mianowicie: wyłączenia z mocy prawa zgodne ze wspólnym rynkiem oraz na wyłączenia, które są dopuszczalne na podstawie uznania ich za legalne przez Komisję Europejską.

Zgodę na przyznanie pomocy publicznej w odniesieniu do biopaliw Komisja udzieliła decyzją w sprawie programu „Pomoc państwa N57/2008 – Polska. Pomoc operacyjna w zakresie biopaliw”<sup>35</sup>. Jednocześnie wprowadzenie systemu ulg akcyzowych połączone zostało z obowiązkiem dostaw określonej ilości biopaliw przez przedsiębiorstwa produkujące lub importujące paliwa i dostarczające te paliwa w Polsce, co wiąże się z realizacją Narodowych Celów Wskaźnikowych. Obligacja ta w ocenie Komisji likwiduje potrzebę przyznawania pomocy publicznej, ponieważ cele środowiskowe upowszechnienia biopaliw można osiągnąć bez konieczności stosowania pomocy publicznej. Czynnikiem ten skutkowało ograniczeniem terminu obowiązywania programu pomocowego do końca kwietnia 2011 roku. Warto nadmienić, że fakt ten nie skutkowało automatycznym uniemożliwieniem wystąpienia z nowym programem pomocowym<sup>36</sup>, jednakże ze względu na brak spodziewanych rezultatów komentowanego programu polski prawodawca nie zdecydował się na jego przedłużenie. Szacuje się bowiem, że w latach 2010–2011 średnie ceny biokomponentów na polskim rynku były niższe niż średnie koszty ich wytworzenia<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> COM (2009) 7140.

<sup>36</sup> Odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Finansów z upoważnienia ministra na interpelację nr 20299 w sprawie likwidacji ulgi akcyzowej od biokomponentów dodawanych do paliw zob. [online] <<http://orka2.sejm.gov.pl>> (dostęp: 22.12.2013).

<sup>37</sup> Najwyższa Izba Kontroli, *Informacja o wynikach kontroli: Stosowanie biopaliw i biokomponentów w transporcie*, KGP-4101-01-00/2013.

W kontekście omawiania systemów wsparcia dla biopaliw warto wskazać, że państwom członkowskim pozostawiono zasadniczo swobodę w zakresie implementacji postanowień dyrektywy 2009/28/WE. W praktyce oznacza to, że mają one prawo do samodzielnego wyboru formy i środków (np. ustawa lub inny akt prawny powszechnie obowiązujący) służących realizacji wyznaczonego w dyrektywie rezultatu, którym są związane (Barcz 2003). W omawianym przypadku będą to określone w dyrektywie poziomy udziału biopaliw w rynku paliw transportowych.

Prym w zakresie promocji biopaliw w ostatnich latach wiodły Niemcy i Szwecja. Poza ulgami podatkowymi na ich produkcję (bez limitów ilościowych) państwa te promowały inwestycje w technologie, które miały pozwolić na przejście od pierwszej do drugiej generacji biopaliw. Analizując dotychczasową politykę poszczególnych państw członkowskich w zakresie promocji biopaliw, nie sposób nie spostrzec, że w przeważającej mierze decydowały się one na kombinowaną politykę wsparcia, tzn. kontyngenty w postaci np. obowiązku dostaw biopaliw nałożonego na określone podmioty, oraz różnorodny system zwolnień podatkowych, np. obniżenie podatku akcyzowego. Do powyższej grupy można zaliczyć Austrię, Cypr, Czechy, Niemcy, Danię, Hiszpanię, Francję, Irlandię, Litwę, Łotwę, Luksemburg, Polskę, Portugalię, Rumunię, Słowację, Słowenię i Wielką Brytanię. Drugą grupę natomiast stanowią państwa, które wdrożyły wyłącznie system zwolnień podatkowych. Zalicza się do nich Belgię, Estonię, Grecję, Węgry, Włochy, Maltę oraz Szwecję. Ostatnia grupa państw, tj. Bułgaria, Finlandia i Holandia, wprowadziła jedynie obligację związaną z określeniem odpowiedniego poziomu dostaw biopaliw (Niemela 2012; Bajczuk 2014).

## **2. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii w Republice Federalnej Niemiec**

### **2.1. Wprowadzenie**

Ustawodawca niemiecki oraz gospodarka niemiecka dostrzegają konieczność możliwie najszerszego wykorzystywania odnawialnych źródeł energii. Dla przykładu, federalna ustawa o preferowaniu odnawialnych źródeł energii (*Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien* – EEG) zakłada, że w latach 2020–2050 zostanie zwiększony udział odnawialnych źródeł energii jako źródła prądu elektrycznego z 35% do 80%. (par. 1 ust. 2 EEG). Ustawa ta zapewnia także stałe wynagrodzenie dla podmiotów, które wprowadzają do sieci elektrycznej prąd wyprodukowany z odnawialnych źródeł energii. W kontekście szeroko rozumianego wsparcia dla produkcji bioetanolu istotne znaczenie ma

ustawa o opodatkowaniu energii (*Energiesteuergesetz / EnergieStG* z 15 lipca 2006), która przyznaje na wniosek podatnika ulgę podatkową dla podmiotów produkujących czyste biopaliwa (§ 50). Ulga była udzielana do 31 grudnia 2015 roku, zaś od 1 stycznia 2013 za każde 1000 l estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) lub oleju roślinnego jako dodatku do paliwa przyznawana jest ulga w wysokości 21,40 euro. Dla porównania – do 31 grudnia 2007 roku wynosiła ona odpowiednio 399,40 euro i 470,40 euro. Ważna jest też ustawa o zmianie polityki wspierania biopaliw (*Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen* z 15 lipca 2009), która ustaliła minimalny udział biopaliw w olejach napędowych na poziomie 6,25% w latach 2010–2014. Biorąc natomiast pod uwagę § 130 ustawy o monopolu spirytusowym (*Branntweinmonopolgesetzes / BranntwMonG* z 8 kwietnia 1922), bioetanol jako alkohol mógłby podlegać opodatkowaniu akcyzą na alkohol do chwili wykorzystania go jako paliwo. Podmioty produkujące bioetanol muszą także zadbać o odpowiednią jego jakość.

## 2.2. Budowa biorafinerii w Republice Federalnej Niemiec

Z względu na federalny ustrój Niemiec pewne uregulowania mogą być odmienne w poszczególnych krajach związkowych w zależności od obowiązujących przepisów ustaw budowlanych (*Bauordnung*), w których określone są kwestie dotyczące przeznaczenia nieruchomości, ich uzbrojenia, odległości między budynkami itp. Znaczące dla budowy biorafinerii jest istnienie planu zabudowy (*Bauleitplan*), który składa się ze wstępnego (*Flächennutzungsplan*) i wiążącego planu zabudowy (*Bebauungsplan*). Gmina ma obowiązek przygotowania takiego planu, o ile jest to konieczne dla rozwoju i utrzymania porządku urbanistycznego gminy (par. 1 ust. 2 niemieckiego kodeksu budowlanego *Baugesetzbuch* – BauGB).

Podczas tworzenia planu zabudowy należy w szczególności zwrócić uwagę na to, czy będzie zapewnione bezpieczeństwo mieszkańców (par. 1 ust. 6 nr 1 BauGB), czy zostaną spełnione wymogi ochrony środowiska (par. 1 ust. 6 nr 7 BauGB, par. 1a BauGB), w tym wpływ na florę i faunę, grunty, atmosferę i wody (par. 1 ust. 6 nr 7 lit. a BauGB), obszary objęte programem Natura 2000 (par. 1 ust. 6 nr 7 lit. b BauGB), zdrowie ludzi (par. 1 ust. 6 nr 7 lit. c BauGB). Istotne jest oszczędne korzystanie z energii oraz wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii (par. 1 ust. 6 nr 7 lit. f BauGB), unikanie immisji i właściwe gospodarowanie odpadami i ściekami (par. 1 ust. 6 nr 7 lit. e BauGB). Kwestie wpływu na środowisko, ujęte w par. 1 ust. 6 nr 7 BauGB i par. 1a BauGB, są badane a następnie publikowane w raporcie oddziaływania na środowisko

(*Umweltbericht*) (par. 2 ust. 4 BauGB). Zgodnie z par. 5 ust. 2 nr 2 lit. b BauGB, urządzenia przeciwdziałające zmianie klimatu (np. biorafinerie) mogą zostać zaznaczone we wstępnym planie zabudowy, który jest zatwierdzany przez organ wyższego szczebla niż gmina (par. 6 ust. 1 BauGB). Wiążący plan zabudowy, chociaż powinien wynikać ze wstępnego planu zabudowy, może powstać niezależnie od niego (par. 8 ust. 2 BauGB). Tak samo jak we wstępnym planie zabudowy, również w wiążącym planie mogą zostać ujęte np. biorafinerie (par. 9 ust. 1 nr 23 lit. b BauGB). W prawie niemieckim gmina może podjąć uchwałę o zakazie wprowadzania zmian do planu (*Veränderungssperre*) (par. 14 ust. 1 BauGB).

Biorafineria może zostać zbudowana na terenie oznaczonym w planie zabudowy jako obszar specjalnego przeznaczenia (*Sondergebiet*) (par. 11 ust. 2 rozporządzenia dotyczącego użytkowania działek budowlanych *Baunutzungsverordnung* – BauNVO). Jeżeli nie został uchwalony plan zabudowy, to uregulowaniami odnoszącymi się do budowy biorafinerii będą w szczególności te, które mają zastosowanie do terenów nieobjętych planem zabudowy i położonych poza obszarem zwartej zabudowy (*Außenbereich*). Budowa w takich obszarach jest dopuszczalna wtedy, gdy nie stoi w sprzeczności z interesem publicznym, a nieruchomość posiada dostęp do instalacji technicznych, tj. kanalizacji i wody (par. 35 ust. 1 BauGB). Do preferowanych urządzeń, które mogą powstać na takich terenach, zalicza się biorafinerie (par. 35 ust. 1 nr 6 BauGB), stąd wydaje się najbardziej zasadne, aby lokować je właśnie w obszarach tego rodzaju.

Pozwolenie na budowę (*Baugenehmigung/ Baubewilligung*) jest ważne przez okres trzech lat od dnia jego udzielenia. Zanim zostanie złożony wniosek o wydanie pozwolenia na budowę, można wnioskować o udzielenie wstępnego pozwolenia (*Bauvorbescheid*). Służy ono zbadaniu, czy planowana inwestycja będzie w ogóle możliwa do realizacji. Wstępne pozwolenie jest przyrzeczeniem w rozumieniu par. 38 niemieckiego kodeksu postępowania administracyjnego (*Verwaltungsverfahrensgesetz* – VwVfG). Pozwolenie na budowę wydawane jest przez urząd ds. budownictwa (*Bauamt*) lub przez urząd nadzoru budowlanego (*Bauaufsichtsbehörde*). Aby uzyskać pozwolenie na budowę, inwestor zobowiązany jest przedłożyć kompletny wniosek (*Bauantrag/ Bauvorlage*), który zawiera przede wszystkim stosowne szkice obiektu, opis obiektu oraz jego bilans energetyczny. Wniosek musi spełniać wymogi stawiane przez prawo kraju związkowego oraz prawo federalne. W trakcie budowy krajowe ustawy budowlane przewidują obowiązek dokonywania okresowych kontroli budowlanych (*Bauzustandsbesichtigung*). Dokonywane są również trzy odbiory budowlane. W razie stwierdzenia uchybień inwestor jest wzywany do ich usunięcia. Pierwszym jest odbiór rusztowania sznurowego (*Baugerüstabnahme*), podczas którego kontroler sprawdza zgodność wyznaczonych przez rusztowanie przy-

szłych ścian budynku z treścią udzielonego pozwolenia na budowę. Urząd nadzoru budowlanego musi zostać poinformowany na dwa tygodnie przed doprowadzeniem budynku do stanu surowego, aby mógł dokonać jego kolejnego odbioru (*Rohbauabnahme*). Podczas odbioru budynku w stanie surowym kontrolowane są m.in. jego bezpieczeństwo przeciwpożarowe i wyciszenie. Ostatnim etapem kontroli jest odbiór końcowy budynku (*Schlussbauabnahme*), konieczny do otrzymania zezwolenia na korzystanie z budynku (*Benutzungsbewilligung*).

Dyrektywa 2011/92/UE o ocenach oddziaływania przedsięwzięć na środowisko (*Umweltverträglichkeitsprüfung*) skutkowałą uchwaleniem w Niemczech ustawy o ocenie oddziaływania na środowisko (*Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung – UVPG*). Ma ona zastosowanie m.in. do przedsięwzięć z zakresu energetyki (par. 3 ust. 1a UPVG). W przypadku jednak konstruowania biorafinerii dla celów badawczych lub testowych, która nie będzie istniała dłużej niż dwa lata, można odstąpić od oceny oddziaływania na środowisko (par. 3f ust. 1 UVPG). Po zgłoszeniu do urzędu zamiaru realizacji przedsięwzięcia przez inwestora jest on informowany, czy ocena oddziaływania na środowisko jest konieczna (par. 3a UPVG), a jeżeli tak, to jakie dokumenty jest zobowiązany przedłożyć (par. 5 UPVG). Zgodnie z par. 6 ust. 3 UPVG, inwestor zobowiązany jest m.in. do udzielenia informacji o miejscu i rozmiarach planowanej inwestycji, znanym sobie szkodliwym wpływie przedsięwzięcia na środowisko, przewidywanych środkach, które posłużą do zniwelowania negatywnego wpływu przedsięwzięcia na środowisko oraz o zweryfikowanych przez inwestora możliwościach rozwiązania kwestii wpływu przedsięwzięcia na środowisko.

### **3. Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii we Francji**

#### **3.1. Wprowadzenie**

Francja na tle innych państw członkowskich UE, wykazuje bardzo silną wolę polityczną w zakresie rozwoju produkcji biomasy lignocelulozowej. Cechą francuskiego modelu jest fakt, iż główne cele i założenia tej polityki definiowane są na poziomie centralnym, natomiast ich realizacja i uszczegółowienie stanowi domenę jednostek samorządu terytorialnego z regionalnymi agencjami ds. środowiska i zarządzania energią na czele. Na poziomie centralnym na uwagę zasługuje przede wszystkim raport Generalnej Dyrekcji ds. Energii i Klimatu Ministerstwa Ekologii, Energii, Zrównoważonego Rozwoju i Gospodarki Przestrzennej na lata 2009–2020 (*Programmations pluriannuelles des*

*investissements de production de chaleur* – PPI chaleur) oraz raport Ministra Rolnictwa, Żywności, Rybołówstwa, Spraw Wiejskich i Planowania Przestrzennego nt. wyzwań energetycznych w rolnictwie w perspektywie 2030 roku (*Les défis énergétiques de l'agriculture française à l'horizon 2030*).

Agencje ds. środowiska i zarządzania energią (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise d'Énergie* – ADEME) działają na podstawie ustawy z 19 grudnia 1990 oraz dekretu z 26 lipca 1991 roku<sup>38</sup>, a podległe są Ministrowi Rozwoju, Energii i Ekologii. Mają za zadanie zachęcać, ułatwiać, koordynować podejmowanie działań sprzyjających ochronie środowiska i oszczędności energii. Aby zrealizować swoją misję, ADEME interweniuje od etapu poszukiwań (projektów) po pomoc w zakresie gospodarki odpadami, ochrony gleby, efektywności energetycznej, energii ze źródeł odnawialnych, jakości powietrza oraz walki z hałasem. To właśnie ADEME stanowią główny podmiot mający pomóc w realizacji zobowiązań w zakresie energii odnawialnej, stanowiących, że Francja osiągnie w 2020 roku poziom 23% energii pochodzącej z tych źródeł<sup>39</sup>. W ramach implementacji dyrektywy 2009/28/WE francuski prawodawca uchwalił dwie ustawy *Grenelle Environnement*<sup>40</sup>, zmieniające i dostosowujące krajowe regulacje prawne do wymogów ww. dyrektywy.

Pierwszą regulacją jest ustawa nr 2009-967 z 3 sierpnia 2009 roku w sprawie programu wdrażania *Grenelle Environnement* (nazywana także ustawą *Grenelle I*<sup>41</sup>). To właśnie w art. 2 tej ustawy wprowadzono opisywany już cel, polegający na osiągnięciu 23% udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym. Ustawa ta wprowadziła ponadto legalną definicję biomasy do ustawy nr 2005-781 z 13 lipca 2005 roku w sprawie programów orientacji polityki energetycznej<sup>42</sup>, która jest zbieżna z definicją z art. 2 dyrektywy 2009/28/WE. Drugim aktem prawnym, dopełniającym opisywane regulacje, jest ustawa nr 2010-788 z 12 lipca 2010 roku odnosząca się do narodowego zaangażowania na rzecz środowiska (tzw. *Grenelle II*<sup>43</sup>). Na uwagę zasługuje fakt, iż większość jej zapisów odnosi się do zmian w ustawach już istniejących celem dostosowania ich do założeń ustawy *Grenelle I* i zmienia wiele zapisów

<sup>38</sup> Loi n° 90-1130 du 19 décembre 1990 (publié au JO du 22 décembre 1990) et le décret n° 91-732 du 26 juillet 1991 (publié au JO du 28 juillet 1991).

<sup>39</sup> Dyrektywa Parlamentu i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i uchylająca dyrektywy 2001/77/WE.

<sup>40</sup> Generalną zasadą we Francji jest, iż ustawy określa się imieniem osoby, która jest za nią odpowiedzialna i która najbardziej przyczyniła się do jej powstania. Z uwagi na powyższe, pomimo braku oficjalnych informacji na ten temat, autor przypuszcza, iż sformułowanie *Grenelle* to nazwisko osoby, która stała za wprowadzeniem tych ustaw.

<sup>41</sup> Loi n° 2009-967 du 3.08.2009 de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement.

<sup>42</sup> Loi n° 2005-781 du 13.07.2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

<sup>43</sup> Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, JO nr 0160 z 13 lipca 2010 r.

m.in. kodeksu rolnego, generalnego kodeksu jednostek samorządu terytorialnego, kodeksu budownictwa i mieszkalnictwa, kodeksu urbanistycznego czy też kodeksu środowiskowego. Nowością w stosunku do ustawy *Grenelle I* jest wprowadzenie obowiązku sporządzenia regionalnych schematów klimatu, powietrza i energii (*schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie* – SRCAE). Obowiązek ten ciąży na prefekcie danego regionu oraz na przewodniczącym rady regionalnej (art. 68 ustawy *Grenelle II*). Inne działania mające na celu promowanie inwestycji w instalacje wykorzystujące biomasę to np. niższy podatek VAT na miejskie ciepło sieciowe, jeżeli energia do jego wytworzenia w co najmniej 50% pochodzi ze źródeł odnawialnych, czy też przedłużenie różnego rodzaju koncesji dla podmiotów taką energię wytwarzających (aby zagwarantować im pewność danej inwestycji i dalsze stabilne możliwości rozwoju).

Interesująca inicjatywą ADEME, podmiotu, który opracował plan na lata 2009–2020, jest utworzenie stowarzyszenia wysoko kwalifikowanych instalatorów w sektorze energetyki odnawialnej, noszących nazwę „Qualit'EnR”, w ramach którego działa specjalna komórka odnosząca się li tylko do energii z biomasy – „Qualibois”. Omawiany plan stanowi m.in., iż produkty lignocelulozowe są tymi produktami rolnymi, które mają bardzo duży potencjał wzrostu i rozwoju.

### 3.2. Budowa biorafinerii – aspekty proceduralne

Instalacje służące do produkcji biopaliw są przedmiotem wielu uregulowań administracyjnoprawnych, nakładających szereg wymogów formalnych na podmioty zamierzające takie instalacje wytworzyć. Podstawowym wymogiem – po uprzednim przeprowadzeniu studium wykonalności (*etude de faisabilite*)<sup>44</sup> – jest uzyskanie zezwolenia na eksploatację (*autorisation d'exploiter*), będącego *de facto* zezwoleniem na prowadzenie danego rodzaju działalności, którego szczegóły określają art. L311-5-L311-9 kodeksu energetycznego (*Code de l'énergie*). Istnieją dwa tryby udzielania takiego zezwolenia: tryb deklaracyjny i tryb autoryzacji. W świetle dekretu nr 2000-877 z dnia 7 września 2000 roku instalacje produkujące energię elektryczną podlegają trybowi autoryzacji, jeżeli ich moc jest większa niż 4,5 MW, natomiast jeżeli ich moc jest mniejsza lub

<sup>44</sup> Studium wykonalności winno zawierać szczegółową analizę potrzeb energetycznych, definicję projektu technicznego, przeliczenie dostępnych zasobów, badanie łańcucha dostaw paliwa w perspektywie zapewnienia trwałości projektu, badanie ograniczeń technicznych związanych z siecią dostępu, studium techniczne, ekonomiczne i analizę finansową projektu, rozmiary instalacji wraz z przeprowadzoną analizą ekonomiczną, różnych jej wariantów, analizę finansową projektu oraz zbiorcze wyliczenie globalnych kosztów projektu – w tym kosztów jego realizacji i kosztów funkcjonowania. Studium wykonalności winno zawierać również raport środowiskowy (*Bilan environnemental*).

równa 4,5 MW, to podlegają trybowi deklaracywnemu. Ponadto według zmienionego rozporządzeniem nr 2011-504 z dnia 9 maja 2011 art. L311-5, zezwolenie na prowadzenie obiektu do produkcji energii elektrycznej jest wydawane przez organy administracyjne, przy czym pod uwagę brane są następujące kryteria:

- 1) bezpieczeństwo i ochrona publicznego systemu elektroenergetycznego, instalacji i wyposażenia towarzyszącego;
- 2) usytuowanie, użytkowanie gruntów i korzystanie z domeny publicznej;
- 3) efektywność energetyczna;
- 4) możliwości techniczne, ekonomiczne i finansowe wnioskodawcy;
- 5) zgodność z zasadami użyteczności publicznej, zwłaszcza w kontekście ochrony środowiska i długoterminowego charakteru inwestycji;
- 6) przestrzeganie przepisów socjalnych.

Dodatkowo artykuł ten precyzuje, iż zezwolenie jest imienne i niezbywalne, a każda zmiana podmiotu produkującego energię elektryczną z danego źródła wymaga odrębnego zezwolenia wydanego przez odpowiednie organy administracyjne.

Drugim wymogiem są procedury związane z tzw. klasyfikacją instalacji związaną z ochroną środowiska (*installations classées pour la protection de l'environnement* – ICPE). Każdy projekt jest przypisany do określonej kategorii w zależności od swojego charakteru i jest przedmiotem różnych systemów (deklaracji lub zezwolenia). Podkreślenia wymaga, iż od października 2009 roku stworzono w ICPE nową rubrykę nr 2781 odnoszącą się do procesu metanizacji<sup>45</sup> oraz dodano nowy system rejestracji, pod który wiele instalacji tego typu może podlegać.

Obecnie instalacje produkujące biopaliwa podlegają systemowi deklaracji (*declaration*), rejestracji (*enregistrement*) oraz zezwolenia (*autorisation*). W systemie deklaracji, opartym na oświadczeniu skierowanym do prefekta, przed uruchomieniem instalacji podać należy charakter i wielkość wykonywanej działalności; ocenę oddziaływania na obszary Natura 2000, których dotyczy postępowanie; opis planu instalacji ukazujący wpływ na konstrukcje i tereny w sąsiedztwie co najmniej 35 m od instalacji, w tym punkty poboru wody, kanały, strumienie i sieci wodne, które są zakryte; sposób i warunki użytkowania, przetwarzania i unieszkodliwiania ścieków, usuwanie odpadów i ścieków; przepisy i procedury postępowania w nagłych przypadkach. Następnie prefekt wydaje potwierdzenie przyjęcia deklaracji oraz przekazuje zgłaszającemu kopię ogólnych wymagań dotyczących instalacji. W systemie rejestracji (*enregistrement*), bazującym na formie uproszczonego zezwolenia (*autorisation*

---

<sup>45</sup> Dekret nr 2009-1341z 29 października 2009 roku zmieniony przez Dekret nr 2010-875 z 26 lipca 2010 roku.



*simplifíee*), nie jest wymagane ani przeprowadzenie studium oddziaływania (*étude d'impact*), ani badania opinii publicznej. W systemie zezwolenia natomiast należy podać:

- 1) główne parametry techniczne instalacji: maksymalną pochodną przepływu, maksymalny opad, dopuszczalną masę hydrauliki siłowej, pojemność magazynową, plany, mapy, projekt przepływu wody;
- 2) studium oddziaływania;
- 3) studium zagrożeń (*étude de dangers*) w postaci środków nadzoru i działań w razie wypadku;
- 4) czas, na jaki ma być wydane zezwolenie oraz szacunkowy czas prac (robót);
- 5) wyliczenie wydatków oraz przedstawienie finansowych i technicznych możliwości producenta.

Wspomniane wyżej studium oddziaływania jest w prawie francuskim uznawane za rzeczywiste narzędzie służące ochronie środowiska, pomagające w wydaniu określonej decyzji oraz przydatne w przepływie informacji do opinii publicznej. Studium to zawiera w szczególności: analizę pierwotnego stanu terenu i jego otoczenia, opis projektu i analizę jego wariantów (w tym powód wyboru takiej a nie innej lokalizacji z punktu widzenia kwestii środowiskowych), analizę bezpośredniego i pośredniego, tymczasowego lub stałego wpływu projektu na środowisko i zdrowie ludzi<sup>46</sup>, proponowane środki kompensacyjne w celu zmniejszenia lub usuwania skutków działalności, warunki rekultywacji terenu po zakończeniu działalności, analizę metod, jakimi posługiwano się opracowując studium oraz nietechniczne podsumowanie.

Studium zagrożeń winno zaś uzasadnić, że projekt osiągnie w określonych warunkach gospodarczych najniższy możliwy poziom ryzyka, biorąc pod uwagę stan wiedzy, praktyk środowiskowych i warunki naturalne towarzyszące instalacji. Studium to precyzuje m.in. potencjalne pośrednie lub bezpośrednie oddziaływanie na sąsiedztwo, zdrowie, bezpieczeństwo, rolnictwo, zanieczyszczenie publiczne, ochronę środowiska i krajobrazu, których przyczyna jest wewnętrzna lub zewnętrzna względem instalacji. Dodatkowo winno określać charakter i organizację ratownictwa i środków bezpieczeństwa, jakimi dysponuje wnioskodawca w celu zwalczania skutków możliwej katastrofy (wypadku), prawdopodobieństwo efektów kinetycznych i obszary potencjalnych wypadków oraz środki i działania na rzecz ograniczenia możliwości wystąpienia i skutków wypadków.

Trzecim wymogiem związanym z ICPE jest pozwolenie na budowę (*demande de permis de construire*). Podkreślenia wymaga, że wniosek należy złożyć

---

<sup>46</sup> Co powinno być analizowane w odniesieniu do środowiska naturalnego (przyrody, wody i powietrza itd.), krajobrazu i dziedzictwa kulturowego oraz środowiska życia ludzkiego (hałas, wibracje, zdrowie).

jednocześnie z opisywanym w poprzednim punkcie wnioskiem środowiskowym. Aby otrzymać pozwolenie na budowę, we wszystkich przypadkach instalacja powinna być zgodna planem zagospodarowania przestrzennego gruntów (*Plan d'Occupation des Sols* – POS), lokalnym planem urbanistycznym (*Plan Local d'Urbanisme* – PLU) oraz z mapą gminy (*carte communale*). Ponadto do wniosku o wydanie pozwolenia na budowę dołączyć należy studium oddziaływania oraz potwierdzenie złożenia wniosku o wydanie zezwolenia środowiskowego w prefekturze (*La justification du dépôt de la demande d'autorisation préfectorale*).

### 3.3. Produkcja i wsparcie dla bioetanolu we Francji

We Francji do wytwarzania etanolu rolniczego, zwanego również bioetanolem, używa się głównie buraków cukrowych i zbóż (pszenicy, kukurydzy). Obszar, na których uprawiane są ww. rośliny z przeznaczeniem na biopaliwa, stanowi mniej niż 5% całej produkcji rolnej zbóż i roślin cukrowych. Kilkanaście jednostek zajmujących się produkcją bioetanolu otrzymało specjalne pozwolenie na produkcję na poziomie 867 000 ton, co powoduje, iż 15 zakładów produkcyjnych (w tym 13 destylarni) w latach 2010–2011 wyprodukowało 11,6 milionów hektolitrów (mhl) bioetanolu i 12,5 mhl w latach 2011–2012. Podkreślenia wymaga, iż etanol ten w paliwie włączony jest bądź w czystej postaci, bądź w formie ETBE (ethyl tertio butyl ether) lub estrów metylowych olejów roślinnych (*esters méthyliques d'huiles végétales* – EMHV) i jest przedmiotem defiskalizacji, czyli obniżenia należnego od niego podatku. Ponadto od 2006 roku przedmiotem tego odliczenia są również estry etylowe olejów roślinnych (*esters éthyliques d'huiles végétales* – EEHV), estry metylowe olejów zwierzęcych (*esters méthyliques d'huiles animales* – EMHA), estry metylowe olejów odpadowych (*esters méthyliques d'huiles usagées* – EMHU). Opisywany wyżej przywilej podatkowy przyznawany jest dla biopaliw produkowanych przez jednostki, które dostały specjalne zezwolenie po procedurze unijnego przetargu, w ilości określonej w tym zezwoleniu (*Unités ayant reçu un agrément après une procédure d'appel d'offre communautaire*). Zwolnienie to wyniosło w sumie 260 mln euro w 2006, 500 mln euro w 2007, 720 milionów euro w 2008 i 521 mln euro w 2009 roku.

Zmniejszenie należności podatkowych o charakterze podmiotowo-przedmiotowym dotyczy również rolników produkujących bioetanol i odnosi się do obniżenia wewnętrznego podatku dotyczącego zużycia produktów energetycznych (*Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Energétiques* – TICPE), który zastąpił wewnętrzny podatek dotyczący zużycia produktów ropopochodnych (*Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Pétroliers*

– TIPP). Dyspozycje te zawarte są w art. 265 bis i 265 bis A francuskiego kodeksu celnego (*Code des douanes*). Powyższe zwolnienie z podatku jest zgodne z europejską dyrektywą 2003/96/WE w sprawie opodatkowania energii, która pozwala państwom członkowskim na specjalne opodatkowanie biopaliw w celu zapewnienia rozwoju i promocji. Środek ten ma znaczący wpływ na rozwój produkcji i sprzedaży biopaliw. Bioetanol zużywany przez Francuzów niemal w całości pochodzi z krajowych upraw rolnych (buraki cukrowe i zboża), które zajmują niespełna 1% użytków rolnych. Stawki odliczenia od podatku (redukcja w euro na każdy hektolitr) do 2013 roku zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1  
Stawka odliczenia od podatku (redukcja w euro na każdy hektolitr) w latach 2007–2013

Rodzaj biopaliwa	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ETBE	33	27	21	18	14	14	14
Etanol	33	27	21	18	14	14	14
Biodisel	25	22	15	11	8	8	8
EEHV	30	27	21	18	14	14	14
EMHA i EMHU	25	22	15	11	8	8	8
Biogaz syntezowy	25	22	15	11	8	8	8

Kolejną zachętą mającą uczynić wprowadzanie biopaliw działalnością bardziej opłacalnymi jest podatek od działań zanieczyszczających środowisko (*taxe générale sur les activités polluantes* – TGAP). Obciążając nim podmioty wprowadzające do obiegu paliwo z mniejszą ilością biokomponentów, Francja stara się zachęcać do stosowania i dystrybucji biopaliw. Podatek ten, wprowadzony art. 32 ustawy o finansach z 2005 roku, nakładany jest zarówno na benzynę, jak i na olej napędowy i odnosi się do ceny sprzedaży bez VAT. Stawka tego podatku została zmieniona ustawą nr 2006-11 z dnia 5 stycznia 2006 roku dotyczącą orientacji rolnej, która zmieniła ustawę nr 2005-781 z dnia 13 lipca 2005 roku ustalającą kierunek polityki energetycznej Francji<sup>47</sup> i rośnie każdego roku, jak określono w tabeli 2, według odsetka wartości opałowej danego paliwa (*pouvoir calorifique inférieur* – PCI), przy czym jest zmniejszana w zależności od poziomu biokomponentów zawartych w paliwie<sup>48</sup>.

<sup>47</sup> Loi n° 2006-11 du 5 janvier 2006 d'orientation agricole qui modifie la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique de la France.

<sup>48</sup> Podatek od działań zanieczyszczających środowisko (TGAP) został wprowadzony w departamentach zamorskich, począwszy od 1 stycznia 2013 roku.

Tabela 2

Stawka podatku od działań zanieczyszczających środowisko [%]

Lata	2005	2006	2007	2008	2009	2010–2012
%	1,2	1,75	3,5	5,75	6,25	7

We Francji etanol w formie czystej miesza się ze zwykłymi paliwami, takimi jak benzyna bezołowiowa SP95, SP98 (zawierają do 5% etanolu) i SP98-E10 (zawiera do 10% etanolu)<sup>49</sup>. Dodatkowo od 2007 roku jest wykorzystywany w paliwie super-etanol E85 (*carburant superéthanol E85*), które zawiera 65-85% etanolu. Paliwo to dedykowane jest do samochodów nazywanych Flex Fuel, które posiadają niezbędne adaptacje, takie jak specjalny system wtrysku, ustawienia silnika, kompatybilność tworzyw sztucznych i uszczelnień, zapewniające rozruch zimnego silnika. Ponadto, aby zachęcić do zakupu samochodów z systemem FlexFuel, rząd francuski wprowadził zwolnienie w wysokości 50-100% od opłaty za wydanie dowodów rejestracyjnych oraz dla pojazdów firmowych za amortyzację w okresie dwunastu miesięcy, możliwość odzyskania 80% podatku VAT za Super-etanol E85 i całkowite zwolnienie z podatku od samochodów służbowych na okres dwóch lat.

Bioetanol w formie ETBE produkowany jest z etanolu pochodzenia rolniczego i izobutyleny (pochodzenie chemiczne). Jest on przeznaczony do mieszania z benzyną bezołowiową SP95, SP98 (do 15% objętości) i SP98-E10 (do 22% etanolu). ETBE jest preferowanym sposobem mieszania etanolu w benzynie, ponieważ stwarza mniej problemów technicznych jak czysty etanol. Jednakże ETBE składa się tylko częściowo ze źródeł odnawialnych w odróżnieniu od etanolu, który jest w 100% źródłem odnawialnym.

## 4. Podsumowanie

Osiągnięcie 10% udziału energii odnawialnej w transporcie krajowym w 2020 roku może być zadaniem trudnym. Aby było to możliwe, konieczne mogą okazać się systemowe rozwiązania dla wytwórców oraz odformalizowanie procedur wobec rolników wytwarzających biopaliwa na własne potrzeby. Być może należałoby ponownie rozważyć system wsparcia, który miałby szerszy zakres. Konieczność notyfikacji przez Komisję Europejską tego rodzaju środków (w ramach przepisów dotyczących pomocy publicznej) sprawia, że możliwe będzie zastosowanie jedynie takich rozwiązań, które będą proporcjonalne do założonego celu.

<sup>49</sup> Nowe paliwo, dostępne na stacjach od 1 kwietnia 2009 roku, nadaje się do stosowania w jedynie w ok. 70% starych samochodów oraz w znacznej większości nowych.

Dokonując analizy polityki energetycznej poszczególnych państw członkowskich w zakresie promocji biopaliw, nie sposób nie dostrzec, że w przeważającej mierze zdecydowały się one na kombinowaną politykę wsparcia, tzn. kontyngenty w postaci np. obowiązku dostaw biopaliw nałożonego na określone podmioty oraz różnorodny system zwolnień podatkowych (np. obniżenie podatku akcyzowego). Jak się bowiem wydaje, takie rozwiązanie jest najbardziej efektywne. Do tej grupy państw można zaliczyć Austrię, Cypr, Czechy, Niemcy, Danię, Hiszpanię, Francję, Irlandię, Litwę, Łotwę, Luksemburg, Polskę (do 2011 roku), Portugalię, Rumunię, Słowację, Słowenię i Wielką Brytanię. Drugą grupę natomiast stanowią państwa, które wdrożyły wyłącznie system zwolnień podatkowych. Zalicza się do nich Belgię, Estonię, Grecję, Węgry, Włochy, Maltę oraz Szwecję. Ostatnia grupa, tj. Bułgaria, Finlandia i Holandia, to państwa, które wprowadziły jedynie obligację związaną z określeniem odpowiedniego poziomu dostaw biopaliw (Niemela 2012).

Warte uwagi jest rozwiązanie francuskie, które umożliwia odstąpienie od konieczności przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko w przypadku konstruowania biorafinerii dla celów badawczych lub testowych. Znaczenie ułatwia to proces wdrażania nowych technologii.

## Piśmiennictwo

- Bajczuk R. 2014. *Odnawialne źródła energii w Niemczech. Obecny stan rozwoju, grupy interesu i wyzwania*. Warszawa.
- Barcz J. (red.). 2003. *Prawo Unii Europejskiej. Zagadnienia systemowe*. Warszawa.
- Burczyk B. 2009. *Biorafinerie: ile w nich chemii?*. *Wiadomości Chemiczne*, 63: 743-753.
- Korzeniowski P. 2012. *Instytucje prawne ochrony środowiska a procesy inwestycyjno-budowlane. Studium prawno-administracyjne*. Warszawa: 73-77.
- Niemela K (ed.). 2012. *The 4th Nordic Wood Biorefinery Conference*. Helsinki.
- Nowak M.J. 2012. *Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Komentarz*. Warszawa.