

# Ocena wpływu odcieków składowiskowych na przyrost wierzby energetycznej

Assessment of the influence of landfill leachate on the growth of energy willow

RAFAŁ NOWAK

DOI 10.36119/15.2022.12.2

Uprawa na szeroką skalę wierzby wiciowej, zwanej energetyczną (*Salix viminalis*) może przyczynić się do ograniczenia kryzysu paliwowego spowodowanego obecną sytuacją geopolityczną oraz zmniejszyć import paliw stałych do Polski. Za takim rozwiązaniem, oprócz aspektów czysto politycznych, przemawiają niskie koszty inwestycyjne, prostota uprawy oraz szybki przyrost biomasy wierzby. Szczególnie przydatne może okazać się zastosowanie odcieków składowiskowych do intensyfikacji uprawy, zamiast nawozów sztucznych. Odcieki, będące wodami odpadowymi powstającymi na składowiskach odpadów komunalnych, charakteryzują się obecnością w wysokich stężeniach związków azotu oraz mikroelementów niezbędnych do rozwoju roślin zielonych, dlatego też wykorzystanie ich uważa się za celowe.

*Słowa kluczowe: wierzba energetyczna, odnawialne źródła energii (OZE), odcieki składowiskowe*

The large-scale cultivation of the energy willow (*Salix viminalis*) can contribute the fuel crisis caused by the current geopolitical situation and reduce the need to import solid fuels to Poland. Apart from purely political aspects, such a solution is supported by low investment costs, simplicity of cultivation, and a rapid increase in willow biomass. Using landfill leachate to intensify cultivation instead of artificial fertilizers can be particularly useful. The leachate, wastewater generated in municipal landfills, is characterized by high concentrations of nitrogen compounds and micronutrients necessary for developing green plants. Therefore their use is considered advisable.

*Keywords: energy willow, renewable energy sources, leachate*

## Wprowadzenie

Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych (OZE) wpisuje się zarówno w politykę zrównoważonego rozwoju, jak i walkę z globalnym ociepleniem. Niewątpliwą zaletą OZE jest odnawianie się nośników energii w procesach naturalnych. Ponadto odnawialne źródła energii przyczyniają się do zmniejszenia stopnia szkodliwego oddziaływania przemysłu energetycznego na środowisko, dzięki sukcesywnemu ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych [1, 2].

Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej (IRENA) na świecie wytwarza się obecnie 3068 GW z OZE, a w Polsce 16,9 GW energii odnawialnej [1]. Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej – Dyrektywa 2009/28/WE, udział odnawialnych źródeł energii, w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. powinien wynosić 20% [3]. Z danych opublikowanych w 2021 roku przez Główny Urząd Statystyczny wynika, że energia pozyskiwana w Polsce ze źródeł odnawial-

nych pochodziła w większości z biopaliw stałych (71,6%), farm wiatrowych (10,9%) oraz biopaliw ciekłych (7,8%). Mniejszymi źródłami energii odnawialnej w naszym kraju według GUS są [4]:

- biogaz (2,6%),
- energia otoczenia pozyskiwana przez pompy ciepła (2,4%),
- promieniowanie słoneczne (2,0%),
- wody płynące (1,5%),
- zasoby geotermalne (0,2%).

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (z późn. zm.) wprowadza definicję biomasy pochodzenia rolniczego, rozumianą jako „pochodząca z upraw energetycznych, a także odpady lub pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty” [5].

W związku ze wzrostem konsumpcji energii i związanych z tym brakami rynkowymi realną możliwością do szybkiego wdrożenia, z potencjalnie zadowalającymi wynikami, wydaje się być uprawa wierzby wiciowej (*Salix viminalis*). Za takim rozwiązaniem przemawia fakt, że uprawy tego

typu można prowadzić przy niskich nakładach finansowych, na ugorach i ziemiach ogólnie uznawanych za nieurodzajne. Wierzba z rodzaju *Salix viminalis* nie ma specjalnych wymagań glebowych a biomasa roślin drzewiastych idealnie nadaje się do procesu spalania i współspalania z węglem. W literaturze można znaleźć informacje, że roczny przyrost biomasy wynosi do 10-22 ton suchej masy z jednego hektara a uprawę w obrębie jednej plantacji można prowadzić przez 25 lat [6]. Dla porównania przeciętny przyrost lasu sosnowego w ciągu roku wynosi 3,9 t/ha a świerkowego 5,1 t/ha [7]. Pozorną wadą wierzby energetycznej jest jej rozbudowany system korzeniowy, który skutecznie ogranicza dostęp do wody innym roślinom. Jednak dzięki temu możliwe jest zakładanie plantacji na terenach podmokłych i przeznaczonych do osuszania. Ze względów praktycznych nie jest zalecane uprawianie wierzby na obszarach z niską sumą rocznych opadów. W tabeli 1 przedstawiono porównanie wartości opałowych wybranych nośników energii [7-11].

**Tabela 1. Wartości opałowe wybranych nośników energii [7-11]****Table 1. Calorific values of selected energy carriers [7-11]**

Nośnik energii	Wartość opałowa suchej masy w MJ/kg
Gaz płynny LPG (propan-butan)	45-46
Węgiel brunatny	5,9-23,9
Węgiel kamienny	15-35
Olej opałowy	40-42
Miskant olbrzymi	14-17
Pellet	16-20
Słoma	14,4 – 7,3
Sorgo	13-15
Spartina preriowa	14-17
Ślaziowiec pensylwański	14,5-17,5
Topinambur	15-16
Wierzba	15-17
Topola	15,1
Robinia akacja	14,8

Wartość opałowa suchej biomasy wierzby wynosi od 15 do 17 MJ/kg i w przybliżeniu odpowiada 0,7 wartości opałowej węgla kamiennego [6]. Za wykorzystaniem tego rodzaju nośnika energii przemawia fakt, że ilość CO<sub>2</sub> pochłoniętego w fazie wzrostu roślin bilansuje się z ilością dwutlenku węgla uwalnianą podczas spalania, w przeciwieństwie do energetycznego wykorzystania paliw kopalnych, prowadzącego do wzrostu stężenia tego gazu w powietrzu.

Obciążenie środowiska odciekami powstającymi na składowiskach jest jednym z głównych problemów związanych z gromadzeniem i przetwarzaniem odpadów komunalnych. Zgodnie z art. 107 Ustawy o odpadach, odpady komunalne mogą być składowane jedynie na składowiskach odpadów zdefiniowanych jako „inne niż niebezpieczne i obojętne” [12]. Składowiska jako obiekty inżynierskie są zobligowane do ujmowania i zagospodarowywania pojawiających się odcieków. Ocieki powstają w wyniku przenikania opadów atmosferycznych przez poszczególne warstwy zgromadzonych odpadów, przez co dochodzi do wyłukiwania z nich związków rozpuszczalnych w wodzie. Przyczynia się to do generowania uciążliwych wód odpadowych, które ze względu na swoje właściwości są niepożądane. Zdecydowana większość odcieków charakteryzuje się obecnością N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> występują-

**Tabela 2. Przykładowy skład odcieków [15]**  
**Table 2. Sample composition of leachate [15]**

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartość
1.	pH	-	8,5
2.	Przewodność	mS/cm	10,7
3.	ChZT	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	2040
4.	BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	350
5.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	535
6.	Cl <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	1400
7.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	40,6

cego w wysokim stężeniu, niskimi stosunkami C/N oraz BZT/ChZT, jak również obecnością związków hamujących procesy biologicznego rozkładu [13, 14]. Przykładowy skład odcieków przedstawiono w tabeli 2 [15].

Cechy te sprawiają trudności w skutecznym unieszkodliwianiu odcieków oraz przyczyniają się do zwiększania kosztów ich oczyszczania, dlatego poszukiwane są inne metody ich zagospodarowania. Jednym z proponowanych rozwiązań jest wykorzystanie odcieków do intensyfikacji uprawy wierzby energetycznej [16].

## Materiały, metody i przebieg badań

### Materiały i metody badań

W badaniach przeprowadzonych w skali ułamkowo-technicznej wykorzystano sztobry (zrzesy) wierzby z gatunku *Salix viminalis* o długości 18-22 cm (rys. 1), odcieki pobrane ze zbiornika odciekowego wybranego składowiska odpadów komunalnych oraz wodę opadową. Charakterystykę odcieków wykorzystanych w badaniach przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3. Podstawowy skład odcieków wykorzystanych w badaniach****Table 3. Basic composition of leachate used in the experiments**

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartość
1.	pH	-	8,5-9,6
2.	Zasadowość ogólna	mval/dm <sup>3</sup>	55,7-96,2
3.	ChZT	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1770-2350
4.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	1280-1630
5.	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	<0,1-1,0
6.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	20,8-44,0

Do nawadniania uprawy wykorzystano wodę deszczową, zamiast wodociągowej, jak to miało miejsce we wcześniej prowadzonych badaniach [16]. Taki zabieg miał na celu ochronę kurczących się zasobów wodnych. Do gromadzenia i przechowywania wody pochodzącej z opadów atmosferycznych, wykorzystano

cztery zbiorniki HDPE typu Mauzer (rys. 2) o pojemności 1000 dm<sup>3</sup> każdy. Trzy zbiorniki były przeznaczone do gromadzenia wody deszczowej, natomiast czwarty służył do przygotowywania mieszaniny wody i odcieków. Wszystkie paletopojemniki były ze sobą połączone rurociągiem o średnicy 2,5 cm i zasilane opadami poprzez system rynnowo-spływowy dachu budynku. Powierzchnia czynna dachu, z której ujmowano opady atmosferyczne, wynosiła 180 m<sup>2</sup>.

**Fot. 2. Instalacja ujmowania i gromadzenia wody opadowej****Pic. 2. Installation of rainwater intake**

## Przebieg badań

Uprawę wierzby energetycznej prowadzono na poletku badawczym odizolowanym folią PE od macierzystej gleby bielicowej, w celu minimalizacji ryzyka infiltracji odcieków do środowiska gruntowodnego. Poletko podzielono na dwie części: I – kontrolną oraz II – doświadczalną. Przed przystąpieniem do nasadzenia, sztobry wierzby namaczano przez 72h

**Fot. 1. Sztobry wykorzystane w badaniach, nasadzenia i uprawa wierzby energetycznej**  
**Pic. 1. Cuttings used in research, planting and cultivation of energy willow**

w wodzie deszczowej a następnie umieszczano w pojemnikach wypełnionych glebą na okres ukorzenia (4-5 tygodni). Nasadzeń sztabów (po 50 sztuk na część I oraz II poletka) dokonano w okresie jesiennym a uprawę prowadzono przez dwa kolejne okresy wegetacyjne. Podczas prowadzenia badań wierzby nawadniano grawitacyjnie, bez zużycia energii elektrycznej, w tygodniowych odstępach, z wyłączeniem dni deszczowych. Intensywność podlewania wynosiła ok. 5 dm<sup>3</sup> na 1 m<sup>2</sup> uprawy. Przy czym część I (kontrolną) podlewano samą wodą a część doświadczalną (II) mieszaniną wody i odcieków. Ze względów praktycznych i logistycznych udział objętościowy odcieków wynosił 5%. Ocenę wpływu odcieków na przyrost biomasy wierzby dokonywano poprzez zmierzenie długości wszystkich łodyg w części I i II poletka doświadczalnego oraz uśrednienie uzyskanych wyników pomiarowych. Doświadczenie nie obejmowało badania kaloryczności uzyskanej biomasy. Zgodnie z danymi literaturowymi w pierwszych 2 latach pozyskuje się jedynie materiał nasadzeniowy. Dopiero w trzecim roku uprawy rośliny nadają się do zbiorów a po wysuszeniu do wykorzystania na cele energetyczne. Wówczas łodygi wierzby *Salix viminalis* osiągają grubość ponad 20 mm oraz wysokość przekraczającą 4,5 m [17].

## Wyniki badań i dyskusja

Przeprowadzone badania wykazały, że średni przyrost wierzby w okresie dwuletnim na poletku kontrolnym (II) wynosił 167,5 cm a badawczym (III) 216,3 cm. Wprawdzie z danych literaturowych wynika, że roczny przyrost wierzby może dochodzić do 300 cm, jednak osiągnięcie takiego efektu możliwe jest w skrajnie korzystnych warunkach (urodzajna gleba, intensywne nawadnianie, stosowanie nawozów, dobre nasłonecznienie) i z ekonomicznego punktu widzenia jest nieuzasadnione. Eksperyment wykazał, że dodatek odcieków do wody, którą wykorzystywano do podlewania części badawczej (III) nie tylko wpłynął na zwiększenie wysokości łodyg, ale także na ogólny wygląd uprawy (wyraźnie grubsze łodygi oraz intensywna zieleń liści). Doświadczenie potwierdziło, że wykorzystanie odcieków składowiskowych do nawadniania wierzby wiciowej przynosi wymierne korzyści w postaci zwiększonego przyrostu biomasy. Niestety zastosowanie odcieków do tego celu niesie za sobą także zagrożenia, gdyż istnieje potencjalne ryzyko przedostania się szkodliwych substancji do wód

gruntowych, dlatego wskazane jest stosowanie warstw izolujących (np.: geomembran, folii PVC). Ponadto w okresie jesiennym, mikrozanieczyszczenia i jony metali ciężkich zaabsorbowane w biomasie są uwalniane do środowiska wraz z opadaniem liści i ich późniejszym rozkładem. Z tego względu wykorzystanie odcieków do uprawy wierzby energetycznej powinno odbywać się pod ścisłym nadzorem. W ocenie autora odpowiednim miejscem do uprawy tego typu są tereny przeznaczone do rekultywacji (np.: zamknięte składowiska odpadów).

## Wnioski

Przeprowadzony eksperyment potwierdził korzystny wpływ odcieków na przyrost biomasy wierzby energetycznej. Uzyskany efekt miał związek z obecnością w odciekach mikro – i makroelementów oraz dużych ilości związków azotu korzystnych dla rozwoju roślin. Porównując uprawy uzyskane na poletku kontrolnym (II) i badawczym (III) odnotowano, że mieszanina wody deszczowej i odcieków (5% obj.) przyczyniła się do intensyfikacji wzrostu łodyg wierzby średnio o 29,1%.

Na uwagę zasługuje również fakt, że poniesione nakłady finansowe ograniczyły się praktycznie tylko do fazy przygotowawczej badań obejmującej: zakup sztabów wierzby, paletozbiorników Mauzer, rur przesyłowych, złączek, folii PE i węża ogrodowego. Sam proces uprawy ograniczał się do jej nawadniania bez zużycia energii elektrycznej, co ma niebagatelne znaczenie przy dzisiejszych cenach energii. W przypadku prowadzenia uprawy w skali technicznej należy jednak liczyć się z większymi nakładami finansowymi ze względu na konieczność budowy zbiorników gromadzących wodę opadową oraz ciśnieniowego systemu doprowadzenia mieszaniny wody i odcieków. Ponadto problemem może być niewystarczająca ilość odcieków powstających na składowiskach odpadów i związana z tym ograniczona powierzchnia uprawy. Z tego względu optymalnymi terenami wydają się być zamknięte/rekultywowane składowiska odpadów komunalnych.

W ocenie autora wykorzystanie odcieków w produkcji biomasy przeznaczonej na cele energetyczne może przyczynić się do uzupełnienia luk powstałych na skutek obecności kryzysu paliwowo-energetycznego.

## LITERATURA

[1] IRENA, Renewable Energy Statistics 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi 2022, ISBN: 978-92-9260-446-2.

- [2] Roman K., Roman M., Szadkowska D., Szadkowski J., Grzegorzewska E., Evaluation of Physical and Chemical Parameters According to Energetic Willow (*Salix viminalis* L.) Cultivation, *Energies* 2021, 14(10), 2968, <https://doi.org/10.3390/en14102968>.
- [3] 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, *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* 5.6.2009, L 140, 16-62.
- [4] Energia ze źródeł odnawialnych w 2020 roku, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2021.
- [5] Dz.U. 2015 poz. 478, Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (z późn. zm.).
- [6] Remlein-Starosta D. (red.), Mrówczyński M. (red.), *Metodyka integrowanej ochrony wierzby krzewiastych dla producentów biomasy*, Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań 2013.
- [7] [www.dodr.pl/11/5/22/4/6/5.pdf](http://www.dodr.pl/11/5/22/4/6/5.pdf) (20.07.2022 r.).
- [8] [www.cdc24.pl/vademecum](http://www.cdc24.pl/vademecum) (20.07.2022 r.).
- [9] [www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2/informacja-osurowcach/9786-wegieli-brunatny.html](http://www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2/informacja-osurowcach/9786-wegieli-brunatny.html) (20.07.2022 r.).
- [10] [www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2/informacja-iskolenia/wiadomosci-surowcowe/10413-wegieli-kamienny-podstawowe-fakty.html](http://www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2/informacja-iskolenia/wiadomosci-surowcowe/10413-wegieli-kamienny-podstawowe-fakty.html) (20.07.2022 r.).
- [11] [www.gas-trading.com.pl/pliki\\_user/files/Wlasciwosci\\_gazu\\_plynnego.pdf](http://www.gas-trading.com.pl/pliki_user/files/Wlasciwosci_gazu_plynnego.pdf) (20.07.2022 r.).
- [12] Dz.U. 2013 poz. 21, Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (z późn. zm.).
- [13] Wang H., Yang C., Wang B., He Z., Fu T., Nitrogen removal performance and microbiological characteristics for the landfill leachate treatment in a three-stage vertical flow constructed wetlands system, *Environmental Technology & Innovation* 2022, 28, 102728, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102728>.
- [14] Luo H., Zeng Y., Cheng Y., He D., Pan X., Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment, *Science of The Total Environment*, 2020, 703, 135468, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135468>.
- [15] Agustina F., Bagastyo A.Y., Nurhayati E., Electro-oxidation of landfill leachate using boron-doped diamond: role of current density, pH and ions, *Water Sci Technol* 2019, 79 (5), 921-928, <https://doi.org/10.2166/wst.2019.040>.
- [16] Nowak R., Kopeć B., Badania nad możliwością wykorzystania odcieków składowiskowych do intensyfikacji uprawy wierzby energetycznej, *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej*, Częstochowa 2018.
- [17] [www.kpodr.pl/przedsiębiorczosc/wierzba-energetyczna-sposob-na-biede/](http://www.kpodr.pl/przedsiębiorczosc/wierzba-energetyczna-sposob-na-biede/) (20.07.2022 r.).

Pracę wykonano w ramach subwencji statutowej Politechniki Częstochowskiej Wydziału Infrastruktury i Środowiska BS-PB-400-301/2022.