



Ocena plonowania wierzby nawożonej osadami ściekowymi

Wiktoria Sobczyk^{}, Katarzyna Sternik^{*},
Eugeniusz J. Sobczyk^{**}, Henryk Noga^{***}*
^{}AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

*^{**}Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*
*^{***}Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków*

1. Wstęp

Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 roku [23] definiuje biomasę jako stałe bądź ciekłe substancje pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej, leśnej oraz z przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, a w szczególności surowce rolnicze.

Badania nad plonowaniem roślin energetycznych prowadzono w kilku ważnych polskich ośrodkach uniwersyteckich: we Wrocławiu [7, 22], w Lublinie [10], w Koszalinie [5, 21], w Częstochowie [13], w Szczecinie [8]. Badania dotyczyły wykorzystania biomasy do pozyskiwania energii na gruntach rolniczych, efektywności energetycznej, wykorzystania osadów ściekowych do nawożenia plantacji i do oczyszczania gleb zanieczyszczonych.

Rośliny energetyczne to takie, które posiadają zdolność gromadzenia oleju lub węglowodanów jako produktu wyjściowego do wytwarzania nośników energii. W okresie wegetatywnym wykazują intensywny przyrost masy, który jest wynikiem efektywnego wykorzystania energii słonecznej. Rośliny mogą być jednoroczne, np. zboża, słonecznik, sorgo, lub wieloletnie: trzcinowate i szybko rosnące rośliny drzewiaste [20]. Posiadają dużą masę właściwą, odporność na szkodniki i choroby, niskie wymagania glebowe i klimatyczne.

Wierzba krzewiasta (*Salix viminalis*) cieszy się dużym zainteresowaniem na krajowych plantacjach energetycznych. Jest rośliną wieloletnią, szybko rosnącą. Drewno pozyskane z plantacji wierzby energetycznej ma relatywnie wysokie ciepło spalania (19.3 MJ/kg), niską zawartość popiołu (1,3%) oraz śladowe ilości siarki (0,028% suchej masy) [22]. W porównaniu z drzewami leśnymi rośnie nawet do 14 razy szybciej, a z jednego hektara plantacji wierzby można uzyskać w ciągu roku 30–40 Mg masy drzewnej, czyli 15–20 Mg w stanie suchym, co odpowiada 10–13 Mg węgla [18]. Wierzba *Salix* może być użytkowana przez okres 25–30 lat.

Dokumentem regulującym możliwość rolniczego wykorzystania komunalnych osadów ściekowych jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [16]. Komunalne osady ściekowe mogą być przekazywane rolnikowi jedynie przez wytwórcę tych osadów. Stosowane są w rolnictwie do upraw rolnych, obrotu handlowego, rekultywacji: terenów rolnych, poeksploatacyjnych kopalni siarki, składowisk odpadów komunalnych [9], jak również do upraw roślin nie przeznaczonych do spożycia przez ludzi i zwierzęta.

Wykorzystanie osadów ściekowych podlega wielu ograniczeniom. Muszą być poddane procesowi stabilizacji, a stosowane w rolnictwie nie mogą zawierać bakterii z rodzaju *Salmonella* oraz żywych jaj pasożytów jelitowych: *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* Zawartość metali ciężkich nie może przekraczać wartości określonych we wspomnianym Rozporządzeniu [16], przy czym koncentracja tych metali w suchej masie osadu ściekowego wykorzystywanego w rolnictwie oraz rekultywacji gruntów na cele rolne musi być znacząco mniejsza niż w przypadku wykorzystywania osadów do rekultywacji terenów na cele nierolne [13].

2. Część badawcza

2.1. Teren i cel badań

Badania polowe przeprowadzono w Leśnictwie Brodła (woj. małopolskie) na doświadczalnej plantacji wierzby energetycznej. Plantację tworzą nasadzenia ośmiu klonów wierzby *Salix viminalis*, oznaczonych numerami: 1007, 1015, 1033, 1051, 1052, 1054, 1056, 1059. Każdy z klonów sadzony był w rzędach o szerokości ok. 4 m i długości ok.

10 m. Odległość między rzędami wynosiła 0,75 m, natomiast między kolumnami 0,33 m.

Region położony jest w umiarkowanym piętrze klimatycznym: średnia temperatura roczna wynosi 8°C, okres wegetacyjny trwa ok. 220 dni, okres bez przymrozków ok. 150 dni. Suma opadów na tym terenie w roku badawczym VI 2013 – VI 2014 wynosiła około 770 mm·rok⁻¹, więc znacząco przewyższała średnią krajową z lat 2001–2010: 719 mm·rok⁻¹ [3]. Warunki wilgotnościowe w analizowanym roku były dobre dla rozwoju biomasy.

Plantacja wierzby energetycznej usytuowana jest na nieużytku rolnym, gdzie występują gleby piaszczyste (podfrakcja: piasek drobny *pdr*, podgrupa granulometryczna: piasek gliniasty *pg*), klasy bonitacyjnej rolnej VI [14, 15]. Nie obserwowano nadmiernego zachwaszczenia, gdyż plantacja była pod stałą kontrolą pracowników Leśnictwa Brodła. Pielęgnacja gleby polegała na odchwaszczaniu powierzchni między sadzonkami, by miały one dostęp do światła i składników pokarmowych.

Doświadczenia polowe trwały od czerwca 2013 roku do czerwca 2014 roku. Wstępnym celem badań była ocena plonowania pięciu klonów wierzby wiciowej *Salix viminalis* i wybranie klonów najlepiej plonujących (o największym rocznym przyroście masy). Zasadniczy cel doświadczenia to ocena skuteczności plonowania po zastosowaniu nawożenia wybranych klonów osadami ściekowymi.

Do analizy ekologicznej wykorzystano parametry węgla kamiennego, pochodzącego z Zakładu Górniczego „Piekary”.

2.2. Przebieg badań

Wcześniejsze badania jednego z autorów [11, 18, 19] wykazały duże przyrosty grubości pędów klonów oznaczonych numerami: 1051, 1052, 1054, 1056, 1059. Największe przyrosty odnotowano w przypadku szczepów: 1056, 1059.

W czerwcu 2013 r. zmierzono wysokość oraz grubość (na wysokości 1 m) 20 pędów każdego z pięciu klonów. Do badań eksperymentalnych wybrano sadzonki dwóch klonów: 1056, 1059, o największej grubości pędów. Podlano je osadami ściekowymi w celu obserwacji przyrostu biomasy. Osady ściekowe pobrano z Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Krzeszowicach. Parametry wykorzystanych w eksperymencie osadów ściekowych (tab. 1) wskazywały na możliwość zastoso-

wania ich w rolnictwie. Wprowadzenie osadów do gruntu przeprowadzono metodą iniekcji, bezpośrednio wstrzykując je w głąb gleby za pomocą strzykawki o dużej pojemności (0,5 dm³). Pod każdą sadzonkę wstrzyknięto 0,5 dm³ osadów. Założono, że dawka około 13 Mg ha⁻¹ powinna spowodować dobre plonowanie wierzby.

Badania kontynuowano po roku, kiedy to ponownie zmierzono grubości pędów wierzby na wysokości 1 metra. Wyniki badań poddano analizie statystycznej.

Tabela 1. Parametry osadu prefermentowanego odwodnionego oraz porównanie z maksymalnymi wartościami dopuszczającymi osad do wykorzystania rolniczego (opracowanie własne na podstawie [2])

Table 1. Parameters of digested and dewatered sludge with the comparison of the maximum allowed sludge values for agricultural use (own study based on data from [2])

Wybrany parametr	Jednostka	Wartość w dniu 25.03.2013	Maks. wartość dopuszczająca do wykorzystania rolniczego
Odczyn pH		7,06	-
Sucha masa	%	19,01	-
Substancja organiczna	% s.m.	53,5	-
Fosfor ogólny	% s.m.	2,73	-
Wapń (Ca)	% s.m.	4,7	-
Magnez (Mg)	% s.m.	0,65	-
Zawartość azotu amonowego	% s.m.	0,96	-
Zawartość azotu ogólnego	% s.m.	4,71	-
Kadm (Cd)	mg/kg s.m.	3,36	20
Miedź (Cu)	mg/kg s.m.	136,4	1000
Nikiel (Ni)	mg/kg s.m.	15	300
Ołów (Pb)	mg/kg s.m.	51,4	750
Cynk (Zn)	mg/kg s.m.	1103,7	2500
Rtęć (Hg)	mg/kg s.m.	0,79	16
Chrom (Cr)	mg/kg s.m.	24,5	500
Bakterie chorobotwórcze z rodzaju <i>Salmonella</i>	j.t./kg osadu	brak	brak
Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Ascaris</i> , <i>Toxocara</i> , <i>Trichuris</i>	liczba/kg s.m.	0	0

3. Dyskusja wyników badań

Klony nienawożone. Największą wysokość pędów (tab. 2) zaobserwowano w przypadku klonów 1056 oraz 1059. Średnia wysokość pędu klonu 1056 wynosiła 286,5 cm, natomiast klonu 1059: 253 cm. Sazdzonki tych klonów były znacznie wyższe (od 17% do 44%) od pozostałych sadzonek klonów 1051, 1052 oraz 1054 [por. 19]. Największą średnią grubość miały pędy klonów 1056: 11,3 mm i 1059: 10,1 mm.

Tabela 2. Średnia grubość i wysokość pędów badanych klonów (2013 r.)

Table 2. The average thickness and height of shoots of the studied clones (2013)

Klony	Średnia grubość pędu [mm]	Średnia wysokość pędu [cm]
1051	8,1	208,5
1052	5,8	191
1054	7,4	238,5
1056	11,3	286,5
1059	10,1	253

Klony nawożone. Największy średni przyrost grubości pędów odnotowano w przypadku klonów 1056 i 1059, nawożonych komunalnymi osadami ściekowymi (tab. 3). Średnice pędów przyrosły o 1,2 mm oraz 1,1 mm, czyli odpowiednio o 10,6% i 10,0%, podczas gdy klony nienawożone miały przyrost średnicy ok. 7%. Obliczono masę 20 pędów każdego z badanych klonów. Stwierdzono, że masa pędów klonu 1056 jest największa: 5,90 kg.

Tabela 3. Wyniki obliczeń średniej grubości pędów klonów 1056 i 1059 w 2014 r. oraz przyrostu grubości roślin i masy w ciągu roku

Table 3. Results of calculations of the average thickness of clones shoots 1056 and 1059 in 2014 and increase of the thickness of the plants and weight during the year

Klony	Numer klonu	Średnia grubość [mm]	Średni przyrost grubości [mm]	Średni przyrost grubości [%]	Masa 20 pędów [kg]
bez nawożenia	1056	12,1	0,8	7,1	5,57
	1059	10,8	0,7	6,9	4,45
nawożone osadami ściekowymi	1056	12,5	1,2	10,6	5,90
	1059	11,2	1,1	10,0	4,68

W dalszych badaniach nad plonowaniem wierzby autorzy zwrócić uwagę na znaczenie czynnika genetycznego, który powoduje zróżnicowaną reakcję klonów na dawkę stosowanych osadów ściekowych [por. 6].

Analiza statystyczna

Celem analizy jest sprawdzenie, czy zastosowanie nawożenia osadami ściekowymi zwiększy przyrost biomasy sadzonek wybranych klonów, a więc czy uzyska się statystycznie lepsze wyniki. Przedmiotem badań była zbiorowość statystyczna, którą stanowiły klony o największej średniej grubości pędów: 20 sadzonek szczepu 1056 i 20 sadzonek szczepu 1059. Cechy populacji na podstawie zachowania się tych cech w próbie oceniono za pomocą parametrycznego testu statystycznego. Ocenę normalności rozkładu empirycznego przeprowadzono przy pomocy testu Kołmogorowa-Smirnowa, natomiast jednorodność wariancji zbadano testem F Forsytha. W badaniu postawiono hipotezę zerową, mówiącą o braku różnicy w przyroście biomasy klonów 1056 i 1059 nie poddanych nawożeniu osadami (grupa kontrolna) i poddanych temu zabiegowi (grupa eksperymentalna): $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$. Przeciwstawiono jej hipotezę konstruktywną, że średni poziom przyrostu biomasy w obu badanych grupach nie jest jednakowy. Wybrano test jednostronny, stwierdzający większy przyrost masy w grupie eksperymentalnej. Obliczono średnie arytmetyczne przyrostu grubości pędów, wariancje i odchylenia standardowe. Istotność pomiarów badano testami parametrycznymi dla zmiennych niepowiązanych: T i C Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Istotność otrzymanych wyników badań opracowano na podstawie pakietu komputerowego STATISTICA [17].

Klon 1056. Stwierdzono normalność rozkładu zmiennych oraz jednorodność wariancji. Obliczona wartość testu T wynosi 20, natomiast tabelaryzowana wartość testu dla 38 stopni swobody i poziomu istotności $\alpha=0,05$: 1,684, więc $T_{obl.} > T_{tab.}$. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu pierwszego rodzaju (przy założeniu równości wariancji) p wynosi 0,000, czyli jest mniejsze niż α . Stwierdzono, że należy odrzucić hipotezę zerową o braku różnicy między zmiennymi. Porównanie wyników w grupie kontrolnej i eksperymentalnej dało istotne statystycznie różnice. Z badań wynika, że średni przyrost biomasy nawożonego klonu 1056 jest istotnie statystycznie wyższy od średniego przyrostu biomasy w grupie kontrolnej.

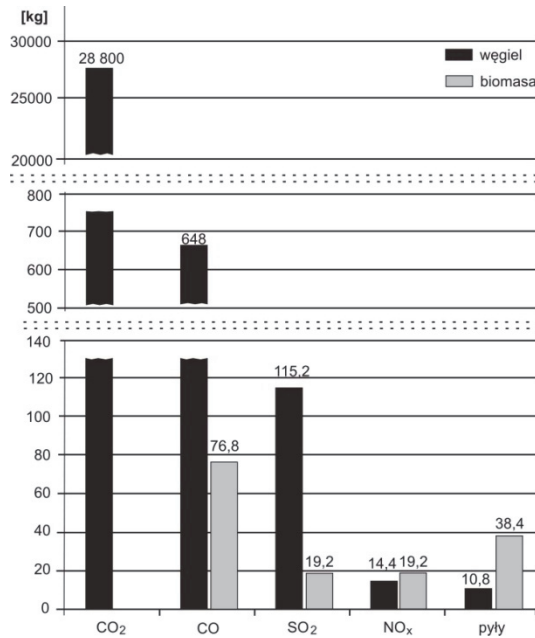
Klon 1059. Stwierdzono normalność rozkładu zmiennych oraz niejednorodność wariancji. Wybrano statystykę testową C Cochran-Coxa. Obliczona wartość testu C wynosi 12, natomiast stabelaryzowana wartość testu dla 38 stopni swobody: 1,684, tak więc $C_{obl.} > C_{tab.}$. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu pierwszego rodzaju wynosi $p=0,000$ ($p < \alpha$). Stwierdzono, że należy odrzucić hipotezę o braku różnicy między zmiennymi. Przyrost biomasy nawożonego klonu 1059 jest istotnie statystycznie wyższy od średniego przyrostu biomasy klonu nienawożonego.

4. Efekt ekologiczny i ekonomiczny

Na hipotetycznej jednohektarowej plantacji zaplanowano uprawę 26 tysięcy sadzonek klonu 1056 wierzby energetycznej (należy podkreślić, że niektórzy badacze stosują rzadkie sadzenie zrzechów: 10000 sadzonek·ha⁻¹, gdyż z czasem znacząco się rozkrzewiają [por. 22]). Pozwala to na uzyskanie w ciągu roku około 19,2 Mg suchej masy drzewnej o wartości opałowej 19,5 GJ/Mg, co pozwoli na wyprodukowanie 374 400 MJ energii. Po uwzględnieniu 70-procentowej sprawności spalania ilość otrzymanej energii wynosi 262080 MJ. Równoważna energetycznie masa węgla wynosi 14,4 Mg.

Przez efekt ekologiczny rozumie się zmniejszenie ilości zanieczyszczeń wyemitowanych do atmosfery dzięki zastąpieniu paliwa konwencjonalnego, w tym przypadku węgla kamiennego z Zakładu Górniczego „Piekary”, paliwem alternatywnym – zrębkami wierzby energetycznej. Wartość opałowa paliwa kopalnego wynosi 26 MJ/kg, zawartość popiołu 4%, a zawartość siarki 0,5%. Założono, iż sprawność odpylania wynosi 90%.

Podczas spalania 14,4 Mg węgla powstaje 28800 kg CO₂, 648 kg CO, 115,2 kg SO₂, 14,4 kg NO_x oraz 10,8 kg pyłów, natomiast podczas spalania wierzby energetycznej do atmosfery emitowane jest 76,8 kg CO, 19,2 kg SO₂, 19,2 kg NO_x, 38,4 kg pyłów (rys. 1). Jak widać, zastąpienie węgla kamiennego równoważną energetycznie ilością zrębków wierzby energetycznej przyczynia się do uniknięcia emisji bardzo dużej ilości zanieczyszczeń do atmosfery: 96 kg dwutlenku siarki, 571,2 kg tlenu węgla oraz 28 800 kg dwutlenku węgla, co oznacza, iż zapobiega się emisji 100% dwutlenku węgla, 88,15% tlenu węgla oraz 83,33% dwutlenku siarki. Podczas spalania drewna powstaje znacznie większa ilość pyłów niż podczas spalania węgla – różnica wynosi 27,6 kg. Pył ten może zostać użyty jako pełnowartościowy nawóz.



Rys. 1. Ilość zanieczyszczeń wyemitowanych do atmosfery w wyniku spalania 14,4 Mg węgla kamiennego i równoważnej energetycznie biomasy (opr. wł.)
Fig. 1. The amount of pollutants emitted into the atmosphere by burning 14.4 Mg of coal and energetically equivalent amount of biomass (own study)

Autorzy publikacji nie prowadzili rozszerzonych badań, jednak należy odnotować, że wieloletnia obserwacja plantacji daje więcej cennych informacji i pozwala na kompleksową ocenę plonowania wierzby nawożonej osadami ściekowymi [por. 1, 6]. Intensywna wymiana jonowa pomiędzy korzeniami a cząsteczkami skażonej gleby czyni ten gatunek przydatnym do fitoremediacji. W ciągu 15 lat plantacja może oczyścić glebę z metali ciężkich, takich jak: arsen, ołów, chrom, rtęć. Zanieczyszczenia gromadzą się w korzeniach roślin, nie przenikają więc do produktów spalania. Wierzba *Salix viminalis* odznacza się zdolnością pobierania związków azotu i fosforu.

Analiza ekonomiczna to bilans kosztów i zysków planowanej inwestycji. Nakłady finansowe na założenie jednohektarowej plantacji wierzby energetycznej wynoszą 7193 zł. Na koszty składają się: analiza jakości gleby, koszty użycia maszyn i narzędzi, koszty herbicydów i nawozów oraz wynagrodzenie za pracę [12]. Niemal 40% kosztów związa-

nych z zakładaniem plantacji to koszt zakupu sadzonek. W analizie przyjęto, iż plantacja zostanie obsadzona bardzo dobrymi jakościowo sadzonkami: 0,11 zł za sztukę [4]. Przy nasadzeniu 26 tysięcy sadzonek daje to nakład 2860 zł. Koszty założenia, pielęgnacji oraz likwidacji plantacji w ciągu 25 lat wynoszą 51656,3 zł. Należy pamiętać, iż nakłady te, mimo że znaczące, rozłożone są na cały okres prowadzenia plantacji i wynoszą jedynie 114,4 zł na rok. Przychody w ciągu 25 lat, uwzględniające sprzedaż zrębek wierzbowych oraz dopłaty w formie jednolitej Płatności Obszarowej, wynoszą 72750,8 zł. Analiza finansowa uprawy wierzby energetycznej wykazała, iż jednohektarowa plantacja, na której zbiór prowadzony jest co 3 lata, przynosi hipotetyczny roczny zysk w wysokości 843,78 zł. Wskaźnik opłacalności, który wyraża stopień pokrycia kosztów wartością produkcji, wynosi w przybliżeniu 140,84%, co jest zadowalającym wynikiem.

Plantacja wierzby energetycznej może służyć jako plantacja wzorcowa prezentująca nowe rozwiązania i ukazująca rolnictwo jako sektor wytwarzający energię z alternatywnych źródeł [24]. Umożliwia to osiągnięcie częściowej niezależności energetycznej. Uprawa wierzby energetycznej spełnia istotne funkcje społeczne: popularyzuje produkcję energii z alternatywnego źródła, podnosi świadomość ekologiczną oraz uaktywnia społeczność lokalne do tworzenia nowych wartości na rynku pracy oraz usług. Funkcją edukacyjną plantacji jest jej udostępnianie do zwiedzania osobom zainteresowanym: rolnikom, przedsiębiorcom, studentom i uczniom.

5. Wnioski

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Spośród badanych pięciu klonów wierzby energetycznej *Salix viminalis* (1051, 1052, 1054, 1056, 1059) najlepsze parametry morfologiczne wykazał szcep 1056. Osiągnął on największy przyrost grubości pędu (7,1%) oraz największą średnią wysokość (286,5 cm), w niektórych przypadkach o 44% większą niż inne klony.
- Zastosowanie osadów ściekowych do nawożenia wpłynęło znacząco na zwiększenie przyrostu grubości pędów klonów 1056 i 1059. W porównaniu z pędami nienawożonymi przyrost był większy o 30%. Istotność różnicy przyrostu potwierdziła analiza statystyczna.

- Jednohektarowa plantacja wierzby energetycznej (klon 1056) pozwala na uzyskanie rocznego przychodu w wysokości 843,78 zł. Efekt ekonomiczny jest wymierny.
- Dzięki założeniu jednohektarowej plantacji wierzby *Salix* i wykorzystaniu jej do celów energetycznych można zapobiec emisji znaczących ilości zanieczyszczeń, powstałych w wyniku spalania równoważnej energetycznie masy węgla kamiennego: 96 kg dwutlenku siarki, 571,2 kg tlenku węgla oraz 28 800 kg dwutlenku węgla. Efekt ekologiczny jest wymierny.

*Zrealizowano w ramach pracy statutowej w KIŚPS AGH
(umowa nr 11.11.100.482)*

Literatura

1. **Baran, S., Wójcikowska-Kapusta, A., Żukowska, G., Bik, M.:** *Właściwości sorpcyjne utworu bezglebowego rekultywowanego osadem ściekowym i węglą mineralną*. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 533, 39–47 (2008).
2. Centralna Oczyszczalnia Ścieków Krzeszowice. *Parametry osadu prefermentowanego odwodnionego*. <http://www.kompas.inwestycji.pl/centralna-oczyszczalniasciekowwkrzeszowicach> (wejście 23 VI 2013).
3. http://www.naukowiec.org/tablice/geografia/opadyatmosferyczne-w-polsce-2011-rok-_802.html (wejście 12 III 2015).
4. <http://www.wierzbaenergetyczna.info> (wejście 1 VII 2014).
5. **Ignatowicz, M., Styszko, L.:** *Wpływ nawożenia azotem na wybrane cechy wierzby krzewiastej w czteroletnim cyklu uprawy*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection).14, 370–379 (2012).
6. **Jama, A., Nowak, W.:** *Wpływ komunalnych osadów ściekowych na plony i cechy biometryczne wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.)*. Nauka Przym. Technol. 6(3), 57, 1–11 (2012).
7. **Kabała, C., Karczewska, A., Kozak, M.:** *Przydatność roślin energetycznych do rekultywacji i zagospodarowania gleb zdegradowanych*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo. XCVI(576), 97–117 (2010).
8. **Kitczak, T., Czyż, H., Kiepas-Kokot, A.:** *Wpływ sposobu i terminu stosowania osadów komunalnych na skład chemiczny gleby i runi trawników*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 12, 207–218 (2010).

9. **Klimont, K., Bulińska-Radomska, Z., Osińska, A., Bajor, P.:** *Kształtowanie się składu gatunkowego roślin wprowadzanych i spontanicznie zasiedlających użytki zielone składowiska odpadów komunalnych*. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. 270, 109–123 (2013).
10. **Kościk, B., Kowalczyk-Juśko, A., Kościk, K.:** *Wstępna analiza potencjału biomasy możliwej do wykorzystania na cele energetyczne w województwie lubelskim*. Urząd Marszałkowski w Lublinie 2009.
11. **Malada, A., Sobczyk, W.:** *Uprawa roślin energetycznych jako forma aktywizacji środowisk wiejskich*. Zeszyty Naukowe Katedry Inżynierii Procesowej Uniwersytetu Opolskiego. II, 92–98 (2005).
12. **Matyka M., Kopiński J., Madej A.:** *Opracowanie koncepcji założenia plantacji wierzby energetycznej oraz określenie jej funkcji produkcyjnych i edukacyjnych*. Puławy: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy, 2009.
13. **Ociepa-Kubicka, A., Pachura, P.:** *Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i słazowca*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 15, 2267–2278 (2013).
14. **Polskie Towarzystwo Gleboznawcze.** *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych*, 2008.
15. **Program ochrony środowiska dla gminy Krzeszowice na lata 2008–2015.**
16. **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych.** Dz.U. 2010, nr 137, poz. 924.
17. **Sobczyk, W.:** *Metody statystyczne w badaniach świadomości ekologicznej młodzieży*. Agencja Wydawniczo-Konsultingowa Geo, Kraków 2002.
18. **Sobczyk, W.:** *Plonowanie wierzby wiciowej – w świetle badań*. Polityka Energetyczna. 10(2), 547–556 (2007).
19. **Sobczyk, W.:** *Evaluation of harvest of energetic basket willow*. TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture PAN. XI, 343–352 (2011).
20. **Sobczyk, W., Kowalska, A.:** *The techniques of producing energy from biomass*. TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture PAN. XII, 257–261 (2012).
21. **Styszko, L., Fijałkowska, D., Sztyma, M.:** *Wpływ warunków pozyskania biomasy na odrastanie pędów wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 12, 339–350 (2010).
22. **Szczukowski, S., Stolarski, M.J., Tworowski, J., Rutkowski, P., Gołiński, P., Mleczek, M., Szentner, K.:** *Plon i jakość biomasy wybranych gatunków wierzby w czteroletniej rotacji zbioru*. *Fragm. Agron.* 31(2), 107–114 (2014).

23. Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. Dz. U. 2006, nr 169, poz. 1199.
24. **Wielewska I.:** *Ecological investment projects in the scope of activity of agribusiness enterprises – selected issues.* Roczniki Naukowe SERiA. XV(3), 373–377 (2013).

Rating of Yielding of Willow Fertilized with Sewage Sludge

Abstract

The paper presents the effect of yielding of the willow *Salix viminalis*, which is characterized by intense weight gain. Field studies were conducted in the experimental energy willow plantation in Brodła Forestry (Malopolska region of Poland).

The effect of the addition of sewage sludge on the intensity of yielding was studied. Far greater increase was noted in the thickness of the shoots of the clones no. 1056, 1059 when using fertilization. In comparison with the unfertilized clones the increase was greater than 30%. The significance of the difference of growth was supported by the data.

Among the five studied willow clones the best-yielding clone was identified (1056), which is the best for cultivation for energy purposes. It was used to establish a hypothetical one-hectare plantation of energy willow.

An economic analysis was conducted for the plantation, the environmental effect was calculated and the social outcome was determined. Calculations show that the annual profit of willow cultivation is 843.78 zł. The economic effect is significant. An ecological analysis showed, that the biomass combustion process emits far fewer pollutants than coal: 8 times less carbon oxide and 6 times less sulfur dioxide. The total carbon dioxide emissions are zero. The environmental effect is significant.

Cultivating willow promotes the production of energy from alternative sources, influences the growth of environmental awareness and enables local communities to create new value in the labor and services market.

Słowa kluczowe:

Wierzba energetyczna, klon, plonowanie, osady ściekowe

Keywords:

energetic willow, clone, yield, sewage sludge