

Witold NIEMIEC¹
Monika ZDEB²

PLANTACJA WIERZBY ENERGETYCZNEJ NAWOŻONA OSADAMI ŚCIEKOWYMI

Zwiększające się potrzeby energetyczne przy jednoczesnym zmniejszaniu się ilości zasobów paliw kopalnych wymuszają stosowanie alternatywnych źródeł energii. Najczęstszym jest biomasa. Istotne jest, jak dla każdej uprawy, uzyskanie jak najwyższego plonu na jak najmniejszej powierzchni, co można osiągnąć przede wszystkim przez dostarczenie właściwych składników pokarmowych dla roślin w odpowiednich ilościach. Alternatywą dla nawozów mineralnych i organicznych są komunalne osady ściekowe. Problemy z wyczerpywaniem paliw kopalnych oraz systematycznie wzrastającą ilością osadów ściekowych determinują stworzenie wspólnego rozwiązania, jakim może być plantacja wierzby energetycznej, nawożona osadami ściekowymi. W opracowaniu dokonano krótkiej charakterystyki wierzby energetycznej i zabiegów agrotechnicznych związanych z jej uprawą. Podano sposoby nawożenia plantacji wierzby energetycznej, ze szczególnym uwzględnieniem nawożenia komunalnymi osadami ściekowymi. Zaprezentowano schemat postępowania ułatwiający dawkowanie osadów ściekowych do gleby, w zależności od stopnia zapotrzebowania roślin na azot i od jego zawartości w glebie. W związku z koniecznością badania każdej dawki nawozowej osadu ściekowego oraz gleby wskazano konkretną metodykę badań gleby i osadów ściekowych, zgodną z obowiązującym w Polsce prawem, dostosowanym do prawa Unii Europejskiej. Omówiono procedury związane z analizą ilościową i jakościową dotyczącą zawartości metali ciężkich oraz organizmów chorobotwórczych (*Salmonella sp.*, pasożyty jelitowe) osadów ściekowych i gleby. Zaproponowano również stosowanie urządzenia do zbierania i pomiaru wody infiltrującej w warunkach polowych w celu stałej kontroli składu chemicznego gleby na plantacji wierzby energetycznej nawożonej osadami ściekowymi.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, biomasa, wierzba energetyczna, komunalne osady ściekowe

¹ Autor do korespondencji: Witold Niemieć, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651504, wniemiec@prz.edu.pl.

² Monika Zdeb, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651949, mzdeb@prz.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Stały wzrost zapotrzebowania na energię jest ściśle związany z nieustannym rozwojem cywilizacji. Prognozy energetyczne zakładają, że zasoby paliw kopalnych i węgla kamiennego przy obecnym tempie eksploatacji wyczerpią się za ok. 180 lat. Dbłość o ochronę środowiska przyrodniczego wymusza redukcję emisji zanieczyszczeń związanych m.in. ze spalaniem tradycyjnych surowców energetycznych. Światowa Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej zakłada zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym dla Polski do 15% w 2020 r. [1]. Jednym z najbardziej dostępnych i od zarania dziejów stosowanym źródłem energii odnawialnej jest biomasa. W Polsce ma ona 98% udziału w rynku energii odnawialnej. Poza tym Polska zobowiązała się do systematycznego zwiększania pozyskiwania i wykorzystywania odnawialnych źródeł energii, co dodatkowo wzmaga konieczność ich poszukiwania [2].

O przydatności rośliny na cele energetyczne decydują: plenność i przyrosty roczne, wartość energetyczna, rodzaj węglowodanów tworzących biomasę, zasięg występowania, wymagania glebowe.

Wierzba energetyczna (*Salix viminalis*) jest rośliną wieloletnią, powstałą na skutek krzyżowania i selekcji kilku gatunków z rodzaju wierzba. Szybko przyrasta zarówno na długości (40-180 cm na rok), jak i na grubości (1,5 mm na rok) [3, 4]. Umiarkowane wymagania glebowe umożliwiają uprawę nie tylko na glebach żyznych, ale też na tych należących do niższych klas bonitacyjnych, pod warunkiem odpowiednio wysokiego poziomu wód gruntowych. Mimo preferencji wilgotnego podłoża przez rośliny, okresowe zalewanie terenów plantacji nie jest korzystne, nie zaleca się więc uprawy w zagłębieniach terenu i nieckach bezodpływowych, okresowo zalewanych [5, 6]. Zebrane po okresie wegetacyjnym i suszone w przewiewnych wiatkach drewno ma wysoką wartość opałową (274,87-419,95 GJ/ha/rok) [7-9]. Ponadto podczas spalania drewna zanotowano niski poziom emisji związków siarki i popiołów, co czyni wierzbę paliwem bezpiecznym dla środowiska [10].

W przypadku wierzby energetycznej bardzo ważnym etapem jest zakładanie plantacji i zastosowanie odpowiedniej agrotechniki podczas jej eksploatacji. Wierzba jest powszechnie uważana za rodzaj dobrze przystosowany do różnych warunków, mimo to wskazany jest wybór odpowiedniego klonu, którego wymaganiom środowiskowym będą odpowiadać warunki na użytku rolnym oraz pozyskanie dobrej jakości sadzonek z pewnego źródła. Roślinę rozmnaża się wegetatywnie za pomocą sadzonek sztabowych, jest więc możliwa ich produkcja własna. Ważne jest również przygotowanie gleby zgodnie z preferencjami wybranego genotypu z uwzględnieniem odchwaszczenia i spulchnienia gleby. Istotne jest właściwe prowadzenie zabiegów pielęgnacyjnych i ochronnych podczas wzrostu sadzonek [11-13].

Wielkoobszarowe plantacje wierzby należy zakładać na bazie kilku klonów, różniących się podatnością na choroby, wrażliwością na uszkodzenia przez szkodniki oraz wymaganiami pokarmowymi. Obsada roślin na jednostce powierzchni wynosi najczęściej 32 tys. szt. · ha⁻¹. Uważa się, że najbardziej efektywne ekonomicznie jest użytkowanie plantacji w cyklu trzyletnim [14]. Uprawa wierzby na cele energetyczne jest inwestycją wieloletnią (25-30 lat), dlatego niezbędne jest uzupełnianie zużytych przez rośliny składników pokarmowych przez stosowanie nawozów.

2. Nawożenie plantacji osadami ściekowymi

Pierwszym etapem dobrego przygotowania gleby pod plantację jest wykonanie analizy pod kątem zawartości składników mineralnych (azotu, potasu, fosforu, wapnia), odczynu oraz ilości metali ciężkich, węglowodorów, środków ochrony roślin, pestycydów i innych czynników uważanych za zanieczyszczenia. Poznanie szczegółowych parametrów gleby pozwala dostosować dawkę nawozów do rzeczywistego zapotrzebowania na nie, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [15]. Badania kontrolne gleby są również wymagane w trakcie prowadzenia uprawy [16].

W oznaczaniu wysokości dawek poszczególnych składników, czyli potrzeb nawozowych, należy brać pod uwagę (oprócz wymagań pokarmowych rośliny) również stan gleby, która jest buforem pochłaniającym składniki pokarmowe (także te dostarczane z nawozami) i umożliwiającym roślinom ich pobieranie. Na potrzeby nawozowe ma wpływ nie tylko ogólna zawartość składników w glebie, ale także ich dostępność, która zależy od składu mechanicznego gleby, wilgotności, odczynu, temperatury, zawartości materii organicznej. Analiza chemiczna i fizyczna gleby pozwala uzyskać informacje o zasobności gleby w przyswajalne dla roślin składniki. Glebę można zasilić:

- mieszaniną nasion strączkowych w postaci przedplonu (tylko przed pierwszym nasadzeniem; przedplon przyoruje się),
- nawozami sztucznymi,
- nawozami naturalnymi (gnojowica, obornik, kompost),
- osadami ściekowymi [17, 18].

W rozwiniętych państwach, również w Polsce, narastają problemy ze składowaniem osadów ściekowych. Według danych GUS z 2012 r. w Polsce nagromadzono 6267176 ton suchej masy osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków przemysłowych i komunalnych [19]. W Polsce zagospodarowanie osadów ściekowych jest unormowane w głównej mierze przepisami wykazującymi pełną zgodność z Dyrektywą Rady 86/278/EEC z dnia 12 czerwca 1986 r. w sprawie ochrony środowiska, a szczególnie gleb przy stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie oraz Dyrektywą Rady 75/442/EEC z dnia 15 lipca 1975 r. w sprawie odpadów (tzw. Dyrektywa Ramowa) [20, 21] (tab. 1.).

Tabela 1. Podstawowe uregulowania prawne dotyczące zakładania i eksploatacji plantacji wierzby energetycznej w Polsce

Table 1. Basic legal regulation concerning assume and exploitation plantation of energetic willow in Poland

Rodzaj aktu prawnego	Tytuł	Data i miejsce publikacji
Ustawa	o odpadach	z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. z 2013 r. Nr 0, poz. 21) [2]
Rozporządzenie MŚ	w sprawie komunalnych osadów ściekowych	z dnia 13 lipca 2010 r. (Dz.U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251 z późn. zm.) [22]
Ustawa	o ochronie gruntów rolnych i leśnych	z dnia 3 lutego 1995 r. (Dz.U. z dnia 22 lutego 1995 r.) [23]
Ustawa	o nawozach i nawożeniu	z dnia 26 lipca 2000 r. (Dz.U. z dnia 24 października 2000 r.) [24]
Ustawa	prawo ochrony środowiska	z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. z dnia 20 czerwca 2001 r.) [25]
Ustawa	o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków	z dnia 7 czerwca 2001 r. (Dz.U. z dnia 13 lipca 2001 r.) [26]
Ustawa	o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym	z dnia 27 marca 2003 r. (Dz.U. z dnia 10 maja 2003 r.) [27]
Rozporządzenie	w sprawie metod i sposobu ustalania ilości zebranych roślin energetycznych	z dnia 28 maja 2008 r. [28]
Rozporządzenie	w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi	z dnia 9 września 2002 r. (Dz.U. Nr 165, poz. 1359) [15]

Stosowanie osadów ściekowych jako nawozu jest bardzo korzystne z wielu powodów. Po pierwsze jest to sposób na zagospodarowanie coraz większej ilości osadów zgodnie z ustawowymi wymogami. Zwiększanie udziału osadu ściekowego w dawce nawozowej działa stymulująco na wartości ogólnej liczebności bakterii i grzybów w glebie, co przyczynia się do zwiększenia zasobów próchnicy w glebie, a tym samym do poprawy jej żyzności. Osady ściekowe jako nawóz doskonale wspomagają procesy rekultywacji składowisk odpadów, nawożenia skarp i terenów miejskich obsadzanych roślinnością, poprawiają strukturę użytków rolnych do produkcji roślin przemysłowych (np. wierzby, kukurydzy, zboża).

Ponadto badania wykazały, że osad ściekowy wpływa stymulująco na wydajność aparatu fotosyntetycznego roślin wyższych, co odzwierciedla się w szybkości wzrostu roślin. Nawożenie osadami ściekowymi powoduje zwiększenie przyrostów rocznych na długość oraz wzrost liczby nowych pędów [29].

Do obliczenia dawki osadów, jaka może być zastosowana na danej plantacji, wykorzystuje się różne metody. W każdej z nich kluczowym etapem postępowania jest wykonanie badań zarówno gleby (25 cm warstwa gruntu), którą chce się nawozić, jak i każdej partii stosowanych osadów. Należy przy tym pamiętać o uwzględnieniu stopnia uwodnienia osadu oraz wilgotności gleby.

Korzystając z otrzymanych danych, można obliczyć możliwą do zastosowania dawkę osadów. Należy przy tym pamiętać, że dawka osadów zależy nie tylko od ilości zawartych w nich metali, ale również od rodzaju gruntu, sposobu jego użytkowania i zapotrzebowania roślin na składniki pokarmowe (głównie fosfor i azot).

$$D = \frac{Z_N \cdot a_N}{S_N \cdot R_N \cdot 100} \text{ [kg s.m.o./ha]} \quad (1)$$

gdzie: D – dawka osadu [Mg s.m./ha],
 Z_N – zapotrzebowanie upraw na azot [kg N/ha/rok],
 a_N – stopień pokrycia zapotrzebowania na azot [%],
 S_N – zawartość azotu (w czystym składniku azotu N) [kg/kg s.m. osadu],
 R_N – równoważnik nawozowy azotu w osadach ściekowych zależny od rodzaju gleby, terminu nawożenia, zmieniający się w granicach 0,3-0,4.

Zapotrzebowanie wierzby na azot przyjmuje się na poziomie 70-240 kg N/ha/rok. Doświadczenia przeprowadzane w Polsce wskazują, że rośliny wymagające nawożenia na glebach piaszczystych można nawozić osadami ściekowymi w ilości nawet 60 ton s.m./ha/rok. Suchą masę osadu określa się z zależności [18]:

$$x = \frac{m - m_2}{V} \cdot 1000 \text{ [kg s.m.o./m}^3\text{]} \quad (2)$$

gdzie: m – masa parownicy z osadem po wysuszeniu [g],
 m_2 – masa parownicy bez osadu [g],
 V – objętość osadu [cm³] [18].

Gdy stężenie co najmniej jednej z substancji przekracza wartość dopuszczalną, glebę uznaje się za zanieczyszczoną. Niedopuszczalne jest więc stosowanie osadów zawierających choćby śladowe ilości tej substancji [18, 22].

3. Monitoring

Każdy ściek dopływający do oczyszczalni, a więc też każdy osad, jest inny oraz każda gleba zmienia się po uprzednim nawożeniu i eksploatacji. Konieczne jest badanie osadów i gleby, do której będziemy je dawkować przed każdym

nawożeniem. Szczegółowy zakres badań osadów i gleby określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [22]. Osady ściekowe przeznaczone do rolniczego wykorzystania powinny spełniać wymagania chemiczne i higieniczno-sanitarne dotyczące:

- zawartości metali ciężkich [mg/kg s.m.],
- odczynu (wyrażonego wartością pH) [30],
- zawartości azotu, fosforu, wapnia, magnezu [mg/kg s.m.],
- obecności bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* [kg s.m.],
- liczby żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* [w 1 kg s.m.].

Przyjmuje się, że osady ściekowe są bezpieczne, gdyż wychodząc z oczyszczalni, są poddawane procesom wymaganym prawnie (tj. stabilizacji biochemicznej, unieczynnianiu organizmów chorobotwórczych, zagęszczaniu i odwadnianiu). Poza tym stosowanie osadów jedynie jako nawozu dla roślin przeznaczonych do produkcji kompostu i nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz uniemożliwia przenikanie zawartych w nich metali ciężkich do łańcucha troficznego ludzi i zwierząt hodowlanych. Bardzo często osady, w których zawartość metali ciężkich lub innych substancji przekracza dopuszczalne stężenia, wzbogaca się innymi komponentami niezawierającymi substancji limitujących [31, 32].

Sposób poboru próbki osadów lub gleby oraz warunki jej transportu mają istotny wpływ na uzyskiwane wyniki badań, dlatego konieczne jest stosowanie szczegółowych instrukcji [30, 33]. Zawartość metali ciężkich w osadach oraz glebie można określić za pomocą metody woltamperometrycznej. To bardzo precyzyjne, a zarazem proste oznaczenie wykorzystuje zjawisko tworzenia przez metale roztworów z rtęcią. Dlatego też do pomiarów używa się elektrod rtęciowych, najczęściej w postaci wiszącej kroplowej elektrody rtęciowej lub błonkowej elektrody rtęciowej [22].

Do oznaczenia ilości azotu, fosforu, wapnia i magnezu wykorzystuje się różne metody. Do ilościowego oznaczania azotu najczęściej stosuje się metodę destylacyjną Kjeldahla. Polega ona na przeprowadzeniu całkowitej zawartości azotu w próbce gleby do postaci amonowej i jego oznaczenie metodą destylacji. W tym celu dokonuje się rozkładu substancji organicznej gleby za pomocą stężonego kwasu salicylowo-siarkowego na gorąco. W tych warunkach azot amonowy przechodzi w $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Jako katalizatora reakcji dodaje się mieszaninę selenową (CuSO_4 , K_2SO_4 , SeSO_4 zmieszane w stosunku 1:1:1). Obecny w glebie azot azotanowy ulega redukcji w reakcji z tiosiarczanem sodu w obecności kwasu siarkowego. Po przejściu całkowitej ilości azotu w siarczan amonu azot oznacza się metodą destylacji. Wskutek dodania zasady sodowej siarczan amonu ulega rozkładowi z wydzieleniem amoniaku, wiązane następnie przez kwas borowy. Ilość związanego przez kwas borowy NH_3 , a na tej podstawie ilość azotu, określa się przez miareczkowanie 0,1 M kwasem solnym. Metoda oznaczania fosforu polega na jego ekstrakcji z osadu (lub gleby) roztworem mleczanu wap-

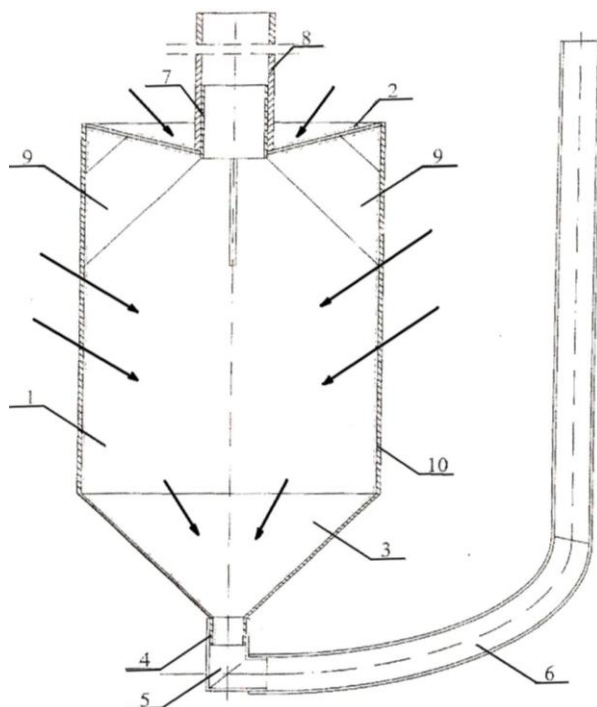
nia (pH ok. 3,6). W tak uzyskanym ekstrakcie fosfor oznacza się kolorymetrycznie, po jego przeprowadzeniu w niebiesko zabarwiony błękit fosforomolibdenowy, tworzący się w reakcji fosforu z molibdenianem amonu. Wykrywanie i oznaczanie ilościowe wapnia i magnezu wykonuje się np. z wykorzystaniem fotometru płomieniowego. Fotometr mierzy promieniowanie emitowane przez odpowiednio wzbudzoną próbkę. Jako źródło wzbudzenia stosuje się płomień palnika, do którego wprowadza się osady ściekowe, zwykle w postaci rozpylnego roztworu. Badany roztwór za pomocą sprężonego powietrza jest zasysany z naczynka i rozpylany do płomienia gazowego. Atomy spalanej substancji emitują charakterystyczne widmo. Światło płomienia przechodzi przez układ optyczny z filtrem przepuszczającym jedynie widmo badanego pierwiastka i trafia na fotoogniwo. Prąd elektryczny powstały w fotoogniwie jest miarą ilości badanej substancji [4, 34].

Badania na obecność bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* przeprowadza się w dwóch etapach. Pierwszym jest badanie wstępne – hodowla na podłożu płynnym wybiórczo-namnażającym z kwaśnym seleninem sodu, w którym niektóre pałeczki chorobotwórcze ulegają namnożeniu, a wzrost innych jest w różnym stopniu zahamowany. Następnie należy wykonać badanie potwierdzające obecność bakterii z rodzaju *Salmonella* w temperaturze 37°C na podłożach wybiórczo-różnicujących stałych, na których w zależności od właściwości biochemicznych kolonie drobnoustrojów mogą wykazywać różnice o znaczeniu rozpoznawczym [35].

Wykrywanie żywych jaj pasożytów jelitowych przeprowadza się podczas trzystopniowego badania. Wstępnie należy wyekstrahować jaja pasożytów z próbki gleby z użyciem 5% wodorotlenku sodu. Następnie przeprowadza się flotację, stosując 5% roztwór siarczanu cynku i zagęszczenie wyflotowanych na powierzchnię roztworu glebowego jaj pasożytów. Rozpoznawania i określania ilości jaj dokonuje się podczas obserwacji mikroskopowych [36].

Badanie osadów ściekowych jest konieczne tylko dla tych partii, które posłużą jako nawóz. W przypadku gleby będącej ośrodkiem dynamicznie zmieniającym się, zwłaszcza pod wpływem zabiegów agrotechnicznych, nawożenia i eksploatacji, potrzeba monitoringu liczby oraz tempa i sposobu migracji różnych substancji dozowanych do gleby wraz z osadami wymusza ciągły pobór próbek celem kontroli składu gleby w każdym momencie jej eksploatacji.

Proponuje się zastosowanie urządzenia do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych. Ma ono postać pojemnika od góry zamkniętego perforowanym wiekiem, o dnie ukształtowanym w postaci stożka zakończonego króćcem. Zarówno górne wieko, jak i króciec dna są zakończone elastycznymi wężykami, łączącymi przestrzeń wewnętrzną urządzenia z jego otoczeniem. Wieko pojemnika jest usztywnione wspornikami umieszczonymi wewnątrz pojemnika oraz w zewnętrznym wieku wymiennym. Schemat urządzenia i kierunek przepływu wody przedstawiono na rys. 1. Wodę z pojemnika można pobrać za pomocą wężyków, przenośnej pompki próżniowej [37-39].



Rys. 1. Schemat urządzenia do poboru infiltrującej wody w warunkach glebowych – przekrój osiowy: 1 – pojemnik, 2 – perforowane wieko, 3 – stożkowo zakończone dno pojemnika, 4 – walcowata końcówka, 5, 7 – króćce, 6, 8 – elastyczne wężyki, 9 – wsporniki, 10 – wewnętrzna warstwa izolacyjna; strzałki wyznaczają kierunek przepływu wody z gleby do naczynia

Fig. 1. Diagram of the device for collect infiltration wather from soil – axial section: 1 – container, 2 – perforated lid, 3 – tapered end, 4 – cylindrical ending, 5, 7 – spout, 6, 8 – flexible tubing, 9 – brackets, 10 – inner insulating coating; arrows – direction of the flow of wather from soil to container

W porównaniu z istniejącymi już urządzeniami spełniającymi taką samą funkcję proponowane rozwiązanie ma kilka cech znacznie ułatwiających pobór próbek wody glebowej. Umocniona konstrukcja pozwala nie tylko umieszczać urządzenie na dowolnej głębokości, ale także swobodnie korzystać z ciężkiego sprzętu rolniczego, bez konieczności omijania miejsca z zamontowanym urządzeniem. Stożkowaty kształt pojemnika ułatwia jego stabilne umieszczenie w glebie oraz wyprowadzenie odcieku na zewnątrz (woda zbiera się na dnie tuż przy wlocie do wężyka odprowadzającego). Umocnienie połączenia wężyków z wiekiem i pojemnikiem za pomocą króćców zapobiega wydostawaniu się próbki poza pojemnik.

Jedyną wadą urządzenia wydaje się być jego metalowa konstrukcja. Metal, z którego jest zbudowany pojemnik, może przenikać do próbki i fałszować wyniki jej analizy. Rozwiązaniem może być pokrycie wnętrza pojemnika warstwą materiału, który nie reaguje z próbką i nie przedostaje się do niej lub nie jest istotny dla analizy.

4. Podsumowanie

1. Zakładanie plantacji wierzby energetycznej powinno być starannie zaplanowane i poprzedzone kluczowymi czynnościami przygotowawczymi.
2. Rozwiązaniem problemu nawożenia plantacji roślin energetycznych i zagospodarowania osadów ściekowych jest zastosowanie osadów do wzbogacania gleby w substancje niezbędne dla rozwoju uprawianych roślin.
3. Zgodnie z prawem Polski i Unii Europejskiej, zarówno podczas zakładania, jak i eksploatacji plantacji roślin energetycznych nawożonych osadami ściekowymi, należy w sposób ciągły kontrolować parametry fizyko-chemiczne i mikrobiologiczne gleby.
4. Do efektywnej i wiarygodnej kontroli składu gleby warto wykorzystywać urządzenia zapewniające stały pobór próbek, np. urządzenie do zbierania i pomiaru wody infiltrującej w warunkach polowych.

Literatura

1. Grecka K.: Wykorzystanie energii zasobów odnawialnych – nowa dyrektywa. *Czysta Energia*, 9, 2009, 14-15.
2. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628).
3. Kaniuczak J., Hajduk E., Puchalski C., Niemiec W., Jasiński T.: Produkcyjność biomasy wierzby energetycznej uprawianej na odłogu piaszczystym zrekultywowanym osadami ściekowymi, [w:] *Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej*, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005.
4. Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma M.: Wpływ nawożenia kompostem z osadów komunalnych na wzrost wierzby energetycznej w 3-letnim cyklu uprawy na glebie lekkiej na Pomorzu. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 213-217.
5. Niemiec W., Jasiński T., Kaniuczak J., Zamorska J.: Technologia agromelioracji odłogu piaszczystego przy użyciu osadów ściekowych, [w:] *Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej*, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005.
6. Ostrowski J., Gutkowska A.: Model diagnostyczny typowania gruntów przydatnych do uprawy roślin energetycznych. *Probl. Inż. Rol.*, 2, 2008, 145-152.
7. Jackowska I.: *Biomasa jako źródło energii*. Warszawa 2009.
8. Kaniuczak J., Błażej J., Jasiński T., Niemiec W., Puchalski C.: Wartość energetyczna jednorocznych pędów wierzby energetycznej uprawianej na agromeliorowanej glebie piaszczystej, [w:] *Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej*, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005.

9. Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M.: Produktywność i wartość opałowa biomasy wierzby. *Czysta Energia*, 9, 2005, 17.
10. Ulbrich R. (red.): Energetyczne wykorzystanie biomasy. Politechnika Opolska, Opole 2005.
11. Błażej J., Błażej J.: Przydatność różnych siedlisk na obszarze województwa podkarpackiego pod uprawę szybkoorosnącej krzaczastej formy wierzby. Cz. I. W świetle literatury, [w:] Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005, 157-163.
12. Harasimowicz-Herman G.: Uprawa wierzby krzewiastej – nowe wyzwania, cz. I. *Czysta Energia*, 4, 2005, 21.
13. Harasimowicz-Herman G.: Uprawa wierzby krzewiastej – nowe wyzwania, cz. II. *Czysta Energia*, 5, 2005, 16.
14. Faber A., Kuś J., Matyka M.: Uprawa roślin na potrzeby energetyki. PKPP Lewiatan, Vattenfall AB, Warszawa 2008.
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. Nr 165, poz. 1359).
16. Kabała C., Karczewska A., Kozak M.: Przydatność roślin energetycznych do rekultywacji i zagospodarowania gleb zdegradowanych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu – Rolnictwo*, 156, 97-117.
17. Niemiec W., Sobolewska P., Jasiński T.: Wybrane możliwości przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, 240, 2007, 63-72.
18. Sikorski M., Bauman-Kaszubska H.: Wybrane problemy gospodarki osadami ściekowymi na terenach wiejskich. *Inżynieria Ochrony Środowiska*, 11, 3, 2008, 343-353.
19. Dmochowska H. (red.): Rocznik statystyczny województw 2012. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2012.
20. Dyrektywa Rady 75/442/EEC z dnia 15 lipca 1975 r. w sprawie odpadów (tzw. Dyrektywa Ramowa), znowelizowana dyrektywą Rady 91/156/EEC, dyrektywą Rady 91/692/EEC oraz decyzją Komisji 96/350/EC (tekst pierwotny: OJ L 194 25.07.75, p. 39).
21. Dyrektywa Rady 86/278/EEC z dnia 12 czerwca 1986 r. w sprawie ochrony środowiska, a szczególnie gleb, przy stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie znowelizowana dyrektywą Rady 91/692/EEC (tekst pierwotny: OJ L 181 04.07.86 p. 6).
22. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. (Dz.U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251 z późn. zm.) w sprawie komunalnych osadów ściekowych.
23. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. z dnia 22 lutego 1995 r.).
24. Ustawa z dnia 26 lipca 2000 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z dnia 24 października 2000 r.).
25. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z dnia 20 czerwca 2001 r.).

26. Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz.U. z dnia 13 lipca 2001 r.).
27. Ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z dnia 10 maja 2003 r.).
28. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 maja 2008 r. w sprawie metod i sposobu ustalania ilości zebranych roślin energetycznych.
29. Augustynowicz J., Pietkiewicz S., Kalaji M.H., Russel S.: Wpływ nawożenia osadem ściekowym na wybrane parametry aktywności biologicznej gleby oraz wydajności aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 10, 2 (30), 7-18.
30. Jakość gleby. Oznaczanie pH. PN-ISO 10390:1997.
31. Kaniuczak J., Niemiec W., Właśniewski S., Zamorska J., Jasiński T., Hajduk E.: Wybrane właściwości osadów ściekowych zastosowanych do agromelioracji odłogu piaszczystego, [w:] Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005.
32. Krzywy E., Krzywy J.: Optymalizacja właściwości nawozowych odpadów pochodzenia organicznego w wyniku ich kompostowania, [w:] Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej, red. J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec. Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005.
33. PN-R 04031: Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek.
34. Cygański: Metody spektroskopowe w chemii analitycznej. WNT, Warszawa 1997.
35. PN-ISO 6579: Mikrobiologia. Ogólne zasady metod wykrywania pałeczek *Salmonella*, 1998.
36. PN-Z-19000-4: 2001: Jakość gleby. Ocena stanu sanitarnego. Wykrywanie jaj pasożytów jelitowych *Ascaris*, *Lumbricoides* i *Trichuris trichura*.
37. Niemiec W.: Prawo ochronne nr 64580 na wzór użytkowy pt. Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2009.
38. PN-EN ISO 5667-13:2011: Jakość wody – Pobieranie próbek – Część 13: Wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów z oczyszczalni ścieków i stacji uzdatniania wody.
39. Szczepaniak W.: Metody instrumentalne w analizie chemicznej. PWN, Warszawa 1999.

PLANTATION OF ENERGETIC WILLOW FERTILIZING BY MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

S u m m a r y

The increasing energy requirements and running out of its natural resources lead to searching for alternative energy sources. Biomass is the most common. For each cultivation its important to obtain a high yield at the least acreage. This can be achieved by delivery appropriate nutrients at the right amounts. Alternative to minerals and standard organic fertilizers are municipal sewage

sludge. In the paper presented a short specification of energetic willow (*Salix viminalis*) and the possibilities of the use of municipal sewage sludge as fertilizers. Presented workflow for easy dosing of sludge to soil depending on the needs of the plants and nitrogen content of the soil. In connection with the necessity the study each batch of fertilizer of sludge and of the soil indicated a concrete methodology of the research of soil and sludge. Collected basic legislation on sludge fertilizer in force in Poland and in the European Union. Discussed procedures for the analysis of quantitative and qualitative information on the content of heavy metals and the presence of pathogenic organisms (intestinal parasites, *Salmonella sp.*) in sludge and soil. On account of high variability of the contents of heavy metals in sludge indicates the necessity to test in detail each batch of the sludge and soil. In the paper proposed to use innovation installation for collect infiltration water which is vehicle for pollution.

Keywords: renewable energy resources, biomass, energetic willow, municipal sewage sludge

DOI: 10.7862/rb.2013.6

Przesłano do redakcji w styczniu 2013 r.

Przyjęto do druku w czerwcu 2013 r.