

ALEKSANDRA SIECIECHOWICZ*

**OSADY ŚCIEKOWE NA PLANTACJI
WIERZBY ENERGETYCZNEJ**

Streszczenie

W pracy podano analizę danych literaturowych dotyczącą ilości produkowanych osadów ściekowych i możliwości ich ostatecznego zagospodarowania. W metodach zwrócono uwagę na wykorzystanie osadów ściekowych jako nawozu pod uprawę wierzby energetycznej.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, wierzba energetyczna

WPROWADZENIE

Osady ściekowe, których ilość wynosi 1-3% ogólnej objętości ścieków dopływających do oczyszczalni, wciąż stanowią poważny problem eksploatacyjny i ekonomiczny. Koszty budowy oraz eksploatacja urządzeń służących do przeróbki osadów mogą osiągnąć nawet 50% ogólnych kosztów oczyszczalni. Aby odzyskać chociaż małą część poniesionych nakładów, osady ściekowe należy traktować jako surowiec o pewnej wartości energetycznej czy nawozowej.

Według KPOŚK [2010], prognozowana na 2015 r. ilość suchej masy osadów ustabilizowanych, które powstaną w komunalnych oczyszczalniach ścieków wyniesie 642,4 tys. ton.

Szacuje się, że w 2015 r. ok. 58% ogólnej ilości osadów wytwarzanych w Polsce, powstanie w aglomeracjach o RLM >100000, ok. 29% w aglomeracjach o RLM 15000-100000 i ok. 13% w aglomeracjach 2000-15000.

W Polsce stosuje się kilka metod zagospodarowania osadów i należą do nich [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010]: przyrodnicze wykorzystanie, składowanie, termiczne przekształcanie oraz rekultywacja terenów. Ograniczenia w składowaniu i przyrodniczym wykorzystaniu osadów determinują poszukiwanie innych metod zagospodarowania osadów. Optymistyczne prognozy zakładają, że dominującym sposobem ostatecznego zagospodarowaniem osa-

* studentka studiów doktoranckich, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

dów będzie termiczne przekształcanie i do roku 2018 ma ono stanowić ok. 60% [KPGO 2010].

IŁOŚCI I ZAGOSPODAROWANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

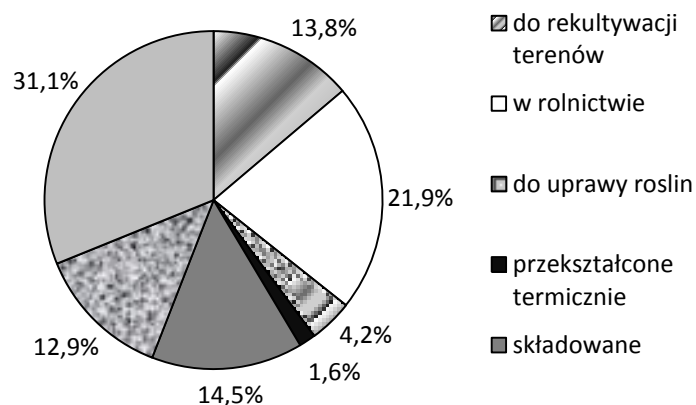
Dane statystyczne GUS [2010] wykazują, że w polskich oczyszczalniach w 2009r. (tabela 1) wytworzono 563,1 tys. ton suchej masy osadów.

Tab. 1. Ilości wytwarzanych i zagospodarowywanych osadów w 2009 r. w Polsce i woj. lubuskim [GUS 2010]

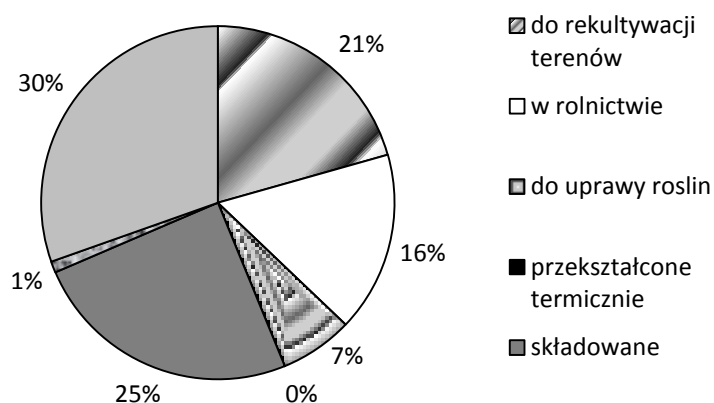
Tab. 1. The quantity of sewage sludge produced and utilised in poland and in lubuskie region during 2009 [GUS 2010]

Obszar	Osady wytworzone w ciągu roku									
	Ogółem	w tym								
		Stosowane				Przekształcone termicznie	Składowane		Magazynowane czasowo	Inne
		Do rekultywacji terenów	W rolnictwie	Do uprawy roślin	Razem		Na terenie zakładu			
w tys. ton suchej masy										
Osady ogółem										
Polska	908,1	164,7	166,1	24	50,4	181,4	128,6	98,1	223,4	
Lubuskie	22,5	4,9	3,2	1,3	2,1	4,8	3,8	0,2	6	
Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków										
Polska	563,1	77,8	123,1	23,5	8,9	81,6	45,4	72,9	175,3	
Lubuskie	19,4	4	3,2	1,3	-	4,8	3,8	0,2	5,9	

Zagospodarowanie osadów przez składowanie wynosiło 14,5%, wykorzystanie osadów do rekultywacji terenów było na poziomie 13,8%, a w rolnictwie wykorzystywano 21,9% osadów. Metody termiczne stanowiły 1,6%, a w zagospodarowaniu osadów dominowały (31,1%) tzw. inne metody (rys. 1).



Rys. 1. Zagospodarowanie osadów ściekowych z komunalnych oczyszczalni ścieków w 2009 r. w Polsce [GUS 2010]
 Fig. 1. Final management of sewage sludge generated by municipal wastewater treatment plant in Poland during 2009



Rys. 2. Zagospodarowanie osadów ściekowych z komunalnych oczyszczalni ścieków w 2009 r. w woj. lubuskim [GUS 2010]
 Fig. 2. Final management of sewage sludge generated by municipal wastewater treatment plant in lubuskie region during 2009

Metody ostatecznego zagospodarowania osadów ściekowych w woj. lubuskim (rys. 2), odbiegają od danych krajowych: 25% osadów składowane, 21% wykorzystuje się do rekultywacji terenów, 23% osadów wykorzystuje się w rolnictwie, w tym 7% pod uprawy roślin. Podobnie jak w kraju, na terenie

województwa lubuskiego dominującym sposobem ostatecznego zagospodarowania osadów (30%) są tzw. inne metody. Zagospodarowanie osadów ściekowych należy uznać za jeden z najbardziej poważnych do rozwiązania problemów krajowej gospodarki odpadami [KPGO 2010, Bień 2007]. Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych w Polsce (obok składowania) jest obecnie najprostszą i najtańszą metodą ich ostatecznego unieszkodliwiania.

Dlatego bardzo istotne jest nie przekraczanie nawozowych dawek osadów, ponieważ zawarte w nich substancje chemiczne (szczególnie metale ciężkie) łatwo kumulują się w środowisku i mogą spowodować jego wtórne zanieczyszczenie. Substancje biogenne zawarte w osadach znacznie wpływają na plony roślin uprawnych oraz przyczyniają się do zwiększenia aktywności biologicznej gleb. Dawki oraz częstotliwość nawożenia osadami ściekowymi uzależnione są od typu i przeznaczenia uprawy [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010, Bień 2007].

Obecnie coraz bardziej powszechne staje się uprawianie roślin energetycznych na polach nawożonych osadami ściekowymi. Takie rozwiązanie pozwala na zagospodarowanie znacznych ilości osadów jak również przyczynia się do rozwoju energetyki odnawialnej.

Strategia Unii Europejskiej zakłada wzrost udziału energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE). W projekcie Polityki energetycznej Polski do 2030 roku za główny cel uznano wzrost wykorzystania źródeł energii odnawialnej w bilansie energii finalnej do 15% w roku 2020 i 20% w roku 2030. W priorytetowych celach projektu znalazła się również ochrona lasów przed nadmiernym eksploataowaniem w celu pozyskiwania biomasy, zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energetyką odnawialną i rolnictwem [Ustawa o odpadach 2001, KPGO 2010, Sadecka, Myszograj 2007].

WPLYW OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA ROŚLINY ORAZ GLEBĘ

Komunalne osady ściekowe ze względu na dużą ilość składników nawozowych i próchnicotwórczych, mogą zostać wykorzystane w rolnictwie do celów nawozowych, ale i także w procesach rekultywacji terenów, gleb zdegradowanych oraz w kształtowaniu szaty roślinnej nieużytków. Osady ściekowe zawierają duże ilości substancji organicznej. Wprowadzone do gleb podwyższają w nich zawartość próchnicy, fosforu, azotu, wapnia oraz magnezu. Dzięki stosowaniu osadów ściekowych wzrasta pH w większości gleb, a także poprawia się pojemność sorpcyjna gleby oraz wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadamiami. Przyrodnicze wykorzystanie osadów może jednak przyczynić się do wtórnego zanieczyszczenia środowiska przez substancje o działaniu toksycznym, które zazwyczaj występują w osadach ściekowych. Nawożenie oraz użyźnianie

gleb osadami ściekowymi może mieć duże znacznie, ponieważ ich wartość rolnicza określana współczynnikiem humifikacji materii organicznej kwalifikuje je do cennych nawozów organicznych [Bień 2007, Greinert i Greinert 1999]. Osady poza korzystnymi właściwościami mają też szereg wad, które uniemożliwiają ich wykorzystanie do celów rolniczych. Są to między innymi podwyższona zawartość metali ciężkich, mikroorganizmy chorobotwórcze, jak też silnie toksyczne związki chemiczne pochodzenia organicznego, którymi są między innymi: pestycydy, polichlorowane bifenyle, chloroform [Bień 2007].

Tab. 2. Ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzone z komunalnym osadem ściekowym w ciągu roku do gleby [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010]

Tab. 2. The quantity of heavy metals that could be insert into soil from municipal sewage sludge during one year

Pierwiastek	Średnio w okresie 10 lat nie mogą przekroczyć: g/ha/rok
Ołów	1000
Kadm	20
Rtęć	10
Nikiel	200
Cynk	5000
Miedź	1600
Chrom	1000

Liczne doświadczenia związane z wykorzystaniem osadów ściekowych do nawożenia gleb, potwierdziły ich korzystny wpływ na wysokość plonów roślin uprawnych. Ich działanie plonotwórcze porównywalne jest z działaniem obornika [Greinert i Greinert 1999, Maćkowiak 2000]. Dawka osadów ściekowych stosowanych do nawożenia jest ściśle normowana ze względu na zawartość w nich m.in. metali ciężkich. Ogólna zawartość metali ciężkich, a szczególnie zawartość łatwo rozpuszczalnych form tych metali jest jednak dostateczną miarą zagrożenia roślin i gleby nawożonej osadami. Duże znaczenie ma również intensywność wprowadzania osadów ściekowych do środowiska – jednorazowo, czy stopniowo. Wśród metali ciężkich znajdują się zarówno te wykorzystywane przez rośliny jako składniki pokarmowe, jak i składniki toksyczne dla środowiska. Do najbardziej szkodliwych zalicza się: kadm, ołów, rtęć, również nadmierna zawartość cynku i miedzi jest niepożądana [Bień 2007, Greinert i Greinert 1999, Maćkowiak 2000].

W tabeli 2 zestawiono dane dotyczące ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzone z osadem ściekowym w ciągu roku do gleby, natomiast maksymalną ilość metali ciężkich w suchej masie osadów stosowanych między innymi do celów rolniczych zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Ilość metali ciężkich w stosowanych komunalnych osadach ściekowych [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010]

Tab. 3. The quantity of heavy metals contains in municipal sewage sludge

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadu nie większa niż:		
		przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych:		
		w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	Do rekultywacji terenów na cele nierolne	Przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
1	Ołów	500	1000	1500
2	Kadm	10	25	50
3	Rtęć	5	10	25
4	Nikiel	100	200	500
5	Cynk	2500	3500	5000
6	Miedź	800	1200	2000
7	Chrom	500	1000	2500

Dawki osadów ściekowych stosowanych do rekultywacji gruntów na cele rolnicze i nierolnicze, uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, a także utwardzania gruntów zestawiono w tabeli 4.

Dawki osadów, które mogą być stosowane do rekultywacji gruntów zależą od wielu czynników, do których zaliczyć można: zawartości metali ciężkich, konsystencja osadów, sposób użytkowania rekultywowanego gruntu. Osady mogą posłużyć do utrwalania powierzchni składowisk popiołów lotnych, odpadów pyłących jak również skarp. Głównym zadaniem rekultywacji jest ukształtowanie szaty roślinnej, której zadaniem jest ochrona powierzchni terenu przed niszczącym działaniem wody, wiatru oraz słońca. Zastosowanie osadów na składowisku powoduje ograniczenie pylenia i tworzy możliwość wykorzystania ich jako źródła składników nawozowych do intensywnej wegetacji roślin [Bień 2007, Greinert i Greinert 1999, Paluch i in. 2006].

Tab. 4. Dawki komunalnych osadów ściekowych [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010]

Tab. 4. A dose of municipal sewage sludge

Lp.	Cel wykorzystania komunalnych osadów ściekowych		Dawki komunalnych osadów ściekowych w Mg sm./ha	Uwagi
1	Rolnictwo		do 10 dawka w ciągu 5 lat	zabieg jednokrotny lub dwukrotny
2	Rekultywacja:	gruntów na cele rolne	200 zależnie od pożądanej zawartości substancji organicznej w gruncie (do 3%)	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
		terenów na cele niewolne	do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
3	Dostosowanie do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu		do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
4	Uprawa roślin przeznaczonych do produkcji kompostu		do 250 dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
			do 10 dawka w kolejnych dalszych latach	
5	Uprawa roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz		do 250 dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
			do 10 dawka w kolejnych dalszych latach	

Graniczną zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu po zastosowaniu nawożenia osadami zestawiono w tabeli 5.

Tab.5. Ilość metali ciężkich w wierzchniej (0-25 cm) warstwie gruntu przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2010]

Tab. 5. The quantity of heavy metals in top layer of soil (0-25 cm) for sewage sludge utilize in agriculture and agriculture land reclamation

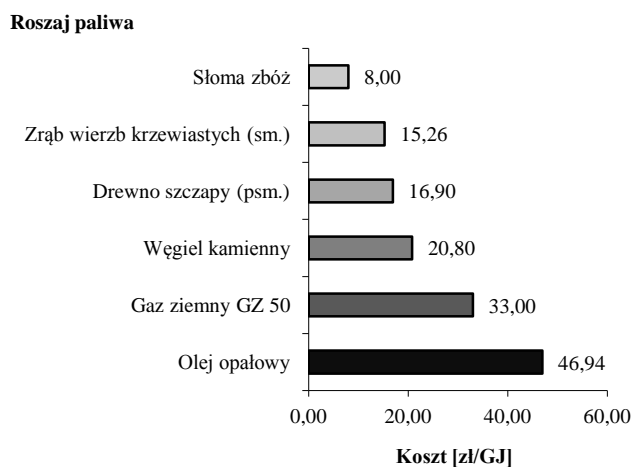
Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy gruntu nie większa niż:		
		przy gruntach:		
		lekkich	średnich	ciężkich
1	Ołów	40	60	80
2	Kadm	1	2	3
3	Rtęć	0,8	1,2	1,5
4	Nikiel	20	35	50
5	Cynk	80	120	180
6	Miedź	25	50	75
7	Chrom	50	75	100

Przyswajalność metali ciężkich dla roślin zależy od rodzaju metalu, całkowitej zawartości metali w glebie, zawartości w glebie pierwiastków w formie mobilnej, pH roztworu glebowego, zawartość substancji organicznej oraz frakcji ilastej, a także gatunku rośliny.

WIERZBA ENERGETYCZNA

Rośliny energetyczne, do których zalicza się między innymi wierzbę energetyczną, gatunki traw z rodzaju *Miscanthus*, ślazier pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) charakteryzują się szybkim wzrostem jak również łatwością przyswajania składników pokarmowych z gleby.

Uprawianie na plantacjach połowych szybko rosnące gatunki wierzby *Salix* sp., mogą dać nawet około 15 razy większe przyrosty niż w lesie naturalnym. (około 11,2 MJ/kg sm.). Biomasa w postaci zrębków wierzby krzewiastej jest konkurencją w stosunku do kopalnych surowców energetycznych. Koszt opalania zrębkami wierzbowymi (15,26 zł/GJ) jest około dwa razy niższy niż przy opalaniu gazem ziemnym i ponad 3-krotnie niższy niż przy użyciu oleju opałowego [Stolarski 2004, Tworkowski i in. 2005] (rys. 3). Rodzaj wierzby (*Salix* L), należy do rodziny wierzbowatych (*Saliceae*) i obejmuje gatunki dwupienne: drzewa, krzewy lub krzewinki. Do uprawy plantacyjnej najbardziej przydatna okazała się *Salix viminalis* – wierzba wiciowa (tzw. konopianka).



Rys. 3. Koszt wytworzenia ciepła z różnych paliw [Tworkowski i in. 2005]
 Fig. 3. A cost of heat generation from various fuels [Tworkowski i in. 2005]

Uprawa wierzby na plantacjach energetycznych może dać od kilku do ponad 25 ton suchej masy drewna z hektara w ciągu roku w zależności od odmiany, cyklu zbioru, stanowiska glebowego oraz od zabiegów agrotechnicznych. Dotychczasowe badania wykazały, że największy plon suchej masy drewna wierzbowego uzyskano z odmiany *Salix viminalis* 082 przy trzyletnim cyklu zbioru, który wyniósł 25,88 t/ha/rok [Stolarski 2004, Szczukowski 2006 Tworkowski i in. 2005] (tabela 6).

Tab.6. Plon suchej masy drewna wierzb krzewiastych w zależności od częstotliwości zbioru (t/ha/rok) [Stolarski 2004]

Tab. 6 The field of willow wood dry solids depending on frequency of harvest [Stolarski 2004]

Klon	Częstotliwość zbioru roślin		
	co rok	co dwa lata	co trzy lata
‘Rapp Valne’	12,77	14,79	19,39
‘Ulv Valne’	16,75	17,40	22,88
‘Orm Valne’	14,38	17,79	22,42
<i>Salix viminalis</i> 082	17,96	19,43	25,88
<i>Salix viminalis</i> var. <i>gigantea</i>	15,54	14,75	19,91
<i>Salix viminalis</i> ‘Piaskówka’	11,46	12,24	18,37
Średnio	14,81	16,07	21,47

Biomasa drzewna prawidłowo założonej plantacji może być pozyskiwana przez 20-25 lat w cyklach jednorocznych, dwu-, trzy- lub czteroletnich. Na plon suchej masy drewna wierzby ma również wpływ nawożenie. Plantacje mogą być nawożone nawozami mineralnymi, ściekami i osadami ściekowymi [Paluch i in. 2006, Sadecka, Myszograj 2007]. Wartość energetyczna jednej tony suchej masy drzewnej wynosi 4,5 MWh, co odpowiada wartości kalorycznej jednej tony niskiej jakości miału węglowego lub 500 litrom oleju opałowego [Paluch i in. 2006, Tworkowski i in. 2005].

Tab. 7. Wartość kaloryczna drewna wierzby, zawartość wody oraz popiołu [Tworkowski i in. 2005]

Tab. 7. The willow wood calorific value, water contents and ash contents [Tworkowski i in. 2005]

Zbiór w cyklach:	Wartość kaloryczna drewna, MJ/kg sm.	Zawartość wody w drewnie, %	Zawartość popiołu, %
Jednorocznym	18,56	53,15	1,89
Dwuletnim	19,25	50,14	1,37
Trzyletnim	19,56	45,98	1,28
Średnia	19,12	49,76	1,51

Podczas spalania gorszych gatunków węgla, zawartość popiołów może wynieść nawet 20% spalanej masy, natomiast zawartość popiołów w wyniku spalania drewna wierzby wynosi średnio 1,51%. Wartość kaloryczna drewna wierzby wynosi średnio 19,12 MJ/kg sm. (tabela 7).

W tabeli 8 zestawiono nakłady oraz energochłonność uprawy wierzby energetycznej w trzech cyklach zbioru [Szcukowski i in. 2006, Tworkowski i in. 2005].

Tab. 8. Efektywność energetyczna uprawy wierzby w trzech cyklach zbioru

Tab.8. The energy efficiency of willow cultivation in three cycles of harvest

Lp.	Wyszczególnienie	Zbiór w cyklach:		
		jednorocznym	dwuletnim	trzyletnim
1.	Nakłady energetyczne na uprawę roślin, GJ/ha	12,2	18,4	30,1
2.	Energochłonność produkcji zrębów, GJ/t sm.	0,83	0,57	0,47
3.	Wartość energetyczna plonu, GJ/ha	275	618	1262
4.	Efektywność energetyczna	22,5	33,6	41,9

* efektywność energetyczna wyrażona stosunkiem wartości energetycznej plonu (3) do nakładów energetycznych poniesionych na uprawę (1)

Wierzba energetyczna doskonale rośnie w warunkach klimatycznych Polski. Bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy oraz łatwość pobierania z gleby składników pokarmowych pozwala na zakładanie plantacji na nieużytkach oraz terenach zdegradowanych. Plantacje zakłada się wczesną wiosną zarówno na glebach organicznych jak i mineralnych, gdy uwilgotnienie gleby jest bardzo dobre. Sadzonki, potocznie zwane szto Brami, którymi są odcinki pędów o długości 20-25 cm i średnicy ok. 1 cm, zebrane w zimie poprzedzającej sadzenie, umieszcza się w glebie ręcznie lub mechanicznie. Na obsadzenie 1 ha plantacji potrzeba 18-20 tyś. sadzonek. Ukorzenie ich następuje szybko i po 2-3 tygodniach od zasadzenia wiadomo, które się przyjęły. Zbiór wierzby przeprowadza się po okresie wegetacji, to jest po opadnięciu liści.

LITERATURA

1. KRAJOWY PROGRAM OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH, Warszawa, 2010
2. ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych
3. USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach [Dz. U. Nr 62, poz. 628] z póź. zm
4. KRAJOWY PLAN GOSPODARKI ODPADAMI 2014, Warszawa, 2010
5. GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY. Ochrona Środowiska, 2010
6. BIEN J.: *Osady ściekowe, teoria i praktyka*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2007
7. GRADZIUK P.: Alternatywne wykorzystanie gruntów rolnych- przegląd roślin energetycznych. *Czysta Energia* 10/2002, 24-26
8. GREINERT H., GREINERT A.: *Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego*. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra. 1999
9. HALICKA A., HEIDRICH Z.: *Ilości i kierunki zagospodarowania osadów ściekowych cz.II*. *Ochrona Środowiska* 1/2007, 40-45
10. MAĆKOWIAK C.: *Skład chemiczny osadów ściekowych i ich wartość nawozowa*. *Przegląd komunalny* 1/2000, 7-8
11. PALUCH J., PARUCH A., PULIKOWSKI K.: *Przyrodnicze wykorzystanie ścieków i osadów*. Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław. 2006
12. SADECKA Z., MYSZOGRAJ S.: *Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych – rzeczywistość i perspektywa*. Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych pod redakcją naukową Sadeckiej Z., Myszgraj S. Wyd. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 2007, 5-12
13. STOLARSKI M.: *Produktywność i pozyskiwanie biomasy wierzby energetycznej*. *Czysta Energia* 10(36)/2004, 30-31

13. SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M., TWORKOWSKI J.: *Wierzba energetyczna*. Wyd. Plantpress, Kraków 2006
14. TWORKOWSKI J., SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M.: *Produktywność i wartość energetyczna wierzby*. *Czysta Energia* 9(49)/2005, 17-19

SEWAGE SLUDGES ON THE WILLOW PLANTATION

S u m m a r y

This paper presents literature data analysis concerning amount of sewage sludge produced in Poland and the way of sewage sludge final management. Utilisation of sewage sludge as an energy willow fertiliser was noticed in methods given in the paper.

Key words: sewage sludge, energy willow