

DOROTA KALEMBASA¹, STEFAN SZCZUKOWSKI², RAFAŁ CICHUTA¹,
ANDRZEJ WYSOKIŃSKI¹

¹Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej – Akademia Podlaska w Siedlcach

²Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

PLON BIOMASY I ZAWARTOŚĆ AZOTU W WIERZBIE (*SALIX VIMINALIS*) PRZY ZRÓŻNICOWANYM NAWOŻENIU AZOTEM

The yield of biomass and content of nitrogen in willow (*Salix viminalis*) at different nitrogen fertilization rate

ABSTRAKT: Nawożenie wierzby energetycznej osadami ściekowymi pozwala na ich rolnicze zagospodarowanie oraz wniesienie do gleby znacznych ilości pierwiastków biogennych (azotu i fosforu). W pracy przedstawiono plony suchej masy pędów dwóch klonów wierzby energetycznej (*Salix viminalis*) oraz zawartość i współczynnik wykorzystania azotu, w zależności od jego dawki wprowadzonej w osadzie ściekowym i moczniku. W obiektach z nawożeniem osadami ściekowymi uzyskano większe plony w porównaniu z obiektem kontrolnym. Największe plony zbierano z obiektów z najwyższą dawką azotu (200 kg N·ha⁻¹). Zawartość azotu w pędach wierzby energetycznej nie była istotnie zróżnicowana w zależności od zastosowanej dawki azotu, a największy współczynnik wykorzystania azotu uzyskano w obiektach z nawożeniem 200 kg N·ha⁻¹.

słowa kluczowe – *key words:*

osady ściekowe – *waste activated sludges*, wierzba – *willow*, azot – *nitrogen*

WSTĘP

Wierzby krzewiaste wykorzystywane są w przemyśle celulozowym, meblarskim, spirytusowym, farmaceutycznym, a przede wszystkim w przemyśle energetycznym (ekologiczne paliwo), co będzie poprawiało w przyszłości bilans energetyczny kraju (2, 13). Wierzby są roślinami, które mogą być uprawiane na gruntach rolniczych o niskiej produktywności lub na niewykorzystanych rolniczo terenach podmokłych, np. w dolinach rzecznych (2). Plantacje wierzby krzewiastej mogą spełniać funkcje biologicznych oczyszczalni ścieków (3, 8). Baran i in. (1) podają, że wierzba nadaje się do utylizacji osadów ściekowych, ponieważ dobrze wykorzystuje składniki pokarmowe w nich zawarte.

Główny Urząd Statystyczny (14) podaje, że w 2002 roku otrzymano ponad 430 tys. ton osadów ściekowych w przeliczeniu na suchą masę. Według Jaroszyńskiego i Sochy (4) około 37% otrzymywanych osadów jest wykorzystywane na cele

rolnicze. Głównym problemem przy rolniczym wykorzystaniu osadów ściekowych są metale ciężkie, które poprzez roślinę przechodzą do dalszych ogniw łańcucha pokarmowego. Wykorzystanie osadów w nawożeniu wierzby energetycznej (*Salix viminalis*), pobierającej duże ilości metali ciężkich i pierwiastków biogennych (azotu i fosforu), pozwoli na zagospodarowanie osadów ściekowych bez obawy zanieczyszczenia produktów żywnościowych. Jednocześnie takie postępowanie pozwala ograniczyć mineralne nawożenie azotem i fosforem przed założeniem plantacji wierzby (5).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanych dawek azotu, wprowadzonych do gleby w osadach ściekowych, na plon biomasy oraz zawartość i wykorzystanie azotu przez dwa klony wierzby krzewiastej (*Salix viminalis*).

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono wiosną 2002 roku, na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba charakteryzowała się odczynem obojętnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 6,5$) oraz wysoką zawartością węgla i azotu ogółem, wynoszącą odpowiednio 42,5 i 2,50 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Powierzchnia poletka wynosiła 8 m^2 . Eksperyment obejmował: obiekt kontrolny, obiekty nawożone osadem ściekowym w dawce zawierającej 100, 150 i 200 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz obiekt nawożony mocznikiem w dawce 50 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ corocznie. Osad ściekowy świeży, pochodzący z miejskiej oczyszczalni ścieków w Siedlcach, którego skład chemiczny podano w tabeli 1, wprowadzono do gleby jednorazowo przed założeniem doświadczenia. Zawartość suchej masy w tym osadzie wynosiła 20,2%, a zawartość metali ciężkich odpowiadała normom przyjętym dla osadów stosowanych w rolnictwie (15). Mocznik stosowano corocznie (w ciągu 3 lat) przed ruszeniem wegetacji. W pierwszym roku we wszystkich obiektach zastosowano nawożenie fosforem i potasem, w postaci nawozów mineralnych

Tabela 1

Zawartość makro- i mikroelementów w osadzie ściekowym z Siedlec
Content of macro- and microelements in waste activated sludge from Siedlce

Oznaczany pierwiastek Elements	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Oznaczany pierwiastek Elements	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
N	50,64	Co	5,099
P	25,75	Mo	5,922
K	3,349	B	29,85
Ca	41,79	Cu	139,2
Mg	8,904	Mn	253,0
S	6,510	Zn	1573
Na	1,684	Fe	13499

tak, aby stosunek N:P:K wynosił 1:0,35:1. Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach. Uprawiano dwa klony wierzb krzewiastej: klon 1056 – *Salix viminalis* i klon 1001 – mieszaniec *S. viminalis* x *S. purpurea*. Na powierzchni 1 m² wysadzono po 7 sztołów. Biomasa wierzb zbierano w lutym każdego roku. Plon suchej masy pędów (bezzlistnych) oznaczono metodą suszarkowo-wagową, po wysuszeniu reprezentatywnych próbek w 105°C do stałej masy.

Przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji wierzb w ciągu trzech kolejnych lat doświadczenia przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Opady atmosferyczne i temperatura powietrza w latach 2002–2004
(dane z punktu pomiarowego w Siedlcach)
Rainfall and air temperature in 2002–2004 (measurement point in Siedlce)

Lata Years	Kwiecień April	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	Wrze- sień Septem- ber	Paździer- nik October	Suma lub średnia Sum or mean
Miesięczna suma opadów (mm); Monthly rainfall (mm)								
2002	10,8	24,2	75,1	58,6	32,2	31,9	59,2	292,0
2003	26,1	32,0	61,7	44,5	62,2	36,5	44,0	307,0
2004	36,4	81,6	45,2	43,5	69,3	17,5	32,2	325,7
Suma miesięczna wieloletnia opadów (mm); Multiyear monthly rainfall (mm)								
1960– –2003	36,1	53,0	72,7	69,9	62,1	52,4	37,7	383,9
Średnia miesięczna temperatura (°C); Monthly temperature mean (°C)								
2002	8,5	16,7	16,9	20,8	20,0	12,8	7,1	14,69
2003	6,7	15,3	16,9	19,8	18,2	13,2	5,1	13,60
2004	7,7	11,5	15,2	17,4	18,7	13,0	9,9	13,34
Średnia wieloletnia temperatura (°C); Multiyear temperature mean (°C)								
1960– –2003	7,5	13,3	16,2	17,8	17,2	12,7	7,8	13,21

Całkowitą zawartość azotu oznaczono na autoanalyzerze CHN firmy Perkin-Elmer. Współczynniki wykorzystania azotu obliczono metodą różnicową.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji dla doświadczenia trójczynnika w układzie całkowicie losowym. Wartości $NIR_{0,05}$ do szczegółowego porównania średnich obliczono z wykorzystaniem testu Tukeya.

WYNIKI

Przy uprawie wierzby krzewiastej (*Salix viminalis*) jako rośliny energetycznej ważnym elementem jest dobór właściwego klonu. Uprawiany w doświadczeniu klon 1056 odznaczał się znacznym przyrostem biomasy (z możliwością wykorzystania do celów energetycznych), a mieszańcowy klon 1001 tworzył długie, wiotkie pędy, nadające się bardziej dla przemysłu wikliniarskiego.

Budowa morfologiczna roślin wierzby spowodowała, że sumaryczny (z trzech lat) plon pędów klonu 1056 był około 4-krotnie większy ($65,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) niż klonu 1001 ($16,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); (tab. 3). Tempo przyrostu biomasy obydwu klonów było zróżnicowane. Biomasa klonu 1056 już w II roku uprawy była ponad 6-krotnie większa niż w I roku, a plon w III roku był zbliżony do roku II. Plon biomasy klonu 1001 był bardzo

Tabela 3

Plon suchej masy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) pędów (bezzlistnych) wierzby krzewiastej
The yield of dry mass ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of willow branches

Obiekty nawozowe Fertilization objects	Klon; Clone							
	1056				1001			
	Lata uprawy; Year of cultivation							
	I	II	III	suma sum	I	II	III	suma sum
Obiekt kontrolny Control object	5,03	30,88	25,11	61,0	0,69	4,51	7,81	13,0
100 kg N (osad; sludge)	6,11	33,87	27,77	67,8	0,89	5,24	9,06	15,2
150 kg N (osad; sludge)	4,20	31,82	30,61	66,6	0,49	6,54	11,42	18,5
200 kg N (osad; sludge)	6,51	34,93	36,82	78,3	1,04	6,93	13,20	21,2
150 kg N (mocznik; urea)	3,21	27,12	25,66	56,0	0,45	6,56	9,05	16,1
Średnia dla lat Means for years	5,01	31,72	29,19	65,9	0,71	5,96	10,10	16,8
NIR; LSD ($\alpha=0,05$) dla: for:								
– klonów; clones	4,96							
– lat uprawy years of cultivation	3,32				0,89			
– dawek azotu doses of nitrogen	7,25				1,85			
– interakcji lata uprawy × dawki azotu interaction years of cultivation × doses of nitrogen	9,88				2,52			

niski w I roku uprawy i mimo że zwiększał się dość znacznie II i III roku, to w każdym z tych lat był kilkakrotnie niższy w porównaniu z klonem 1056.

Zastosowane nawożenie różnicowało plon roślin. Plon biomasy klonu 1056 istotnie zależał od nawożenia azotem w osadzie ściekowym. Największy plon (średnio 78,3 t·ha⁻¹) otrzymano w obiektach nawożonych 200 kg N·ha⁻¹. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania dla dawek 100 i 150 kg N·ha⁻¹. Natomiast dawka azotu (50 kg·ha⁻¹) w formie mocznika wpłynęła na zmniejszenie plonu, w stosunku do niższych dawek azotu (100 i 150 kg·ha⁻¹) w osadzie ściekowym i do obiektu kontrolnego. Można więc sądzić, że 50 kg N·ha⁻¹ rocznie jest dawką zbyt niską, ograniczającą plonowanie wierzby, a azot w formie mocznika przypuszczalnie ulega sorpcji biologicznej w glebie.

Plon biomasy klonu 1001 był także największy w obiekcie z nawożeniem dawką 200 kg N·ha⁻¹ w osadzie ściekowym (21,2 t·ha⁻¹). Najmniejszy plon zebrano z obiektu kontrolnego (13,0 t·ha⁻¹). Zwiększanie dawki azotu do 200 kg·ha⁻¹ powodowało liniowy przyrost plonu biomasy tego klonu. Wartość współczynnika korelacji dla tej zależności wynosiła $r = 0,998$, a równanie prostej regresji miało postać $Y = 9,30 + 0,0598x$. Stosowanie azotu istotnie zwiększyło plon biomasy klonu 1001; azot zastosowany w formie mocznika spowodował mniejszy przyrost plonu niż azot w osadzie ściekowym. Wskazuje to na celowość stosowania osadów ściekowych do nawożenia wierzby, także ze względów organizacyjnych, gdyż osad ściekowy można stosować jednorazowo przed założeniem plantacji, a mocznikiem należy nawozić corocznie. Ponieważ osady ściekowe są traktowane jako organiczny materiał odpadowy, w którym cena azotu jest bardzo niska w porównaniu z azotem zawartym w moczniku, koszt produkcji biomasy może być znacznie ograniczony.

Zawartość azotu w pędach (bezlistnych, zbieranych w lutym) obydwu klonów nie była istotnie zróżnicowana i średnio z trzech lat uprawy wynosiła: dla klonu 1056 7,50 g·kg⁻¹, a dla klonu 1001 7,40 g·kg⁻¹ (tab. 4). W II roku uprawy niezależnie od klonu zawartość azotu w pędach była najmniejsza (największa w I roku). W obiektach z nawożeniem mocznikiem oraz w obiektach kontrolnych stwierdzono najmniejszą zawartość azotu (od 6,92 do 7,11 g·kg⁻¹), zaś w obiektach z dawką 200 kg N·ha⁻¹ w osadzie ściekowym – największą.

Dobrym wskaźnikiem gospodarki azotowej danej rośliny jest współczynnik wykorzystania azotu przez nawożoną roślinę. Jego wartość była zróżnicowana dla poszczególnych dawek azotu (większa dla klonu 1056 niż dla klonu 1001) i średnio dla obiektów z osadem ściekowym wynosiła 48,20%, natomiast z mocznikiem – 14,30% (tab. 5). Największą wartość współczynnika wykorzystania azotu z osadu ściekowego stwierdzono w obiektach z nawożeniem dawką 200 kg N·ha⁻¹. W obiektach z nawożeniem mocznikiem zanotowano ujemną wartość tego współczynnika dla klonu 1056, a nieznacznie dodatnią dla klonu 1001.

Tabela 4

Zawartość azotu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w pędach (bezlistnych) wierzby
Content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) of nitrogen in willow

Obiekty nawozowe Fertilization objects	Klon; Clone							
	1056				1001			
	Lata uprawy; Year of cultivation							
	I	II	III	średnia mean	I	II	III	średnia mean
Obiekt kontrolny Control object	7,70	5,20	8,20	7,03	9,25	5,40	6,70	7,11
100 kg N (osad; sludge)	8,38	5,65	8,30	7,44	9,40	5,70	7,33	7,47
150 kg N (osad; sludge)	9,60	5,40	8,45	7,81	9,65	5,55	7,30	7,50
200 kg N (osad; sludge)	10,20	6,35	8,30	8,28	9,60	6,30	7,40	7,77
150 kg N (mocznik; urea)	8,65	5,10	7,00	6,92	9,35	5,30	6,70	7,11
Średnia; Mean	8,91	5,54	8,05	7,50	9,45	5,65	7,09	7,40
NIR; LSD ($\alpha=0,05$) dla: for:								
– klonów; clones	n.i.							
– lat uprawy years of cultivation	0,77				0,86			
– dawek azotu doses of nitrogen	0,97				1,11			
– współdziałania lat uprawy \times dawki azotu interaction years of cultivation \times doses of nitrogen	1,04				n.i.			

n.i. – brak istotnych różnic; non-significant differences

Tabela 5

Wartość współczynnika wykorzystania (%) azotu po trzech latach doświadczenia
Coefficient of nitrogen utilization (%) after three years of experiment

Obiekty nawozowe Fertilization objects	Klon; Clone	
	1056	1001
100 kg N (osad; sludge)	67,92	21,55
150 kg N (osad; sludge)	43,75	27,55
200 kg N (osad; sludge)	94,35	34,10
150 kg N (mocznik; urea)	-39,64	11,04
Średnia dla klonów Means for clones	41,59	23,56

DYSKUSJA

Wierzba krzewiasta (*Salix viminalis*) jest rośliną, która w warunkach Polski wydaje plon wynoszący nawet ponad 20 ton suchej masy z hektara rocznie (6, 12). Nawożenie tej rośliny osadami ściekowymi powoduje zwiększenie ilości uzyskiwanej biomasy (7). W przeprowadzonym doświadczeniu istotne zwiększenie plonu stwierdzano najczęściej po zastosowaniu największej dawki azotu ($200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) w osadzie ściekowym. Uzyskane plony wynosiły nawet ponad 30 ton suchej masy z hektara w II i III roku uprawy. Niskie plony pędów uzyskane w I roku po założeniu plantacji były efektem intensywnego rozwoju systemu korzeniowego, co ograniczyło rozwój części nadziemnej (9).

Większe plony wierzby w obiektach z osadem niż z mocznikiem świadczą o znacznej przydatności osadów ściekowych do nawożenia tej rośliny. Uprawiane kłony różniły się między sobą reakcją na nawożenie: plon klonu 1056 był kilkakrotnie większy niż klonu 1001. Duża zmienność wielkości uzyskiwanych plonów w obrębie rodzaju *Salix* (9-11) jest efektem prac hodowlanych, preferujących różne formy genetyczne (o różnej budowie morfologicznej) dla różnych sposobów zagospodarowania. Wykorzystując wierzbę do celów energetycznych powinno się dążyć do uprawy klonów charakteryzujących się szybkim tempem gromadzenia biomasy, a więc wysokimi plonami.

WNIOSKI

1. W przeprowadzonym 3-letnim doświadczeniu polowym z uprawą energetycznej wierzby krzewiastej znacznie lepiej plonował klon 1056 (*Salix viminalis*) niż klon 1001 (*Salix viminalis* x *S. purpurea*).

2. Uzyskane wyniki wskazują, że osady ściekowe mogą być wykorzystywane do nawożenia wierzby krzewiastej. Dawka azotu zastosowana w moczniku była zbyt niska i nie przyniosła spodziewanych efektów.

3. Zawartość azotu w pędach bezlistnych dwóch badanych klonów wierzby krzewiastej zwiększała się po zastosowaniu większych dawek azotu w osadzie ściekowym.

LITERATURA

1. Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Jaworska B., Saadi L.: Zawartość cynku w wiklinie i glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym, Szczecin, Folia Univ. Agric. Stetin., 211, Agricultura, 2000, **84**: 25-30.
2. Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościk B.: Biopaliwa. Warszawa, 2002, 60-66.
3. Hus S., Kutera J.: Oczyszczanie i utylizacja ścieków miejskich na plantacjach drzew. Poznań, Mat. II Konf. Nauk. „Las-Drewno-Ekologia '95”, 1995.

4. Jaroszyński T., Socha Ł.: Aktualny stan gospodarki osadowej w Polsce. W: Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii, Częstochowa, Cz. I: Wyd. Polit. Częstoch., 2003, 230-242.
5. Kalembasa S., Symanowicz B., Kalembasa D., Malinowska E.: Możliwość pozyskiwania i przeróbki biomasy z roślin szybko rosnących (energetycznych). W: Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii, Częstochowa, Cz. I, Wyd. Polit. Częstoch., 2003, 358-364.
6. Kruczek S., Mierzyński J.: Małe rozproszone elektrociepłownie na biomasę. W: Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii, Częstochowa, Cz. II, Wyd. Polit. Częstoch., 2003, 519-527.
7. Kopeć M., Gondek K.: Wykorzystanie osadów garbarskich w uprawie wikliny. Acta Agrophys., 2002, **73**: 167-173.
8. Różanowski B.: Czy wierzba zastąpi węgiel? Ekopartner, 1993, 5.
9. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Produktivność klonów wierzb krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. Fragm. Agron., 2002, **2**: 39-51.
10. Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Sobotka W.: Wpływ materiału rozmnożeniowego *Salix* sp. na wzrost roślin, plon biomasy oraz wartość kaloryczną drewna. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1999, **468**: 453-463.
11. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.: Biomasa krzewiastych wierzb (*Salix* sp.) pozyskiwana na gruntach ornych odnawialnym źródłem energii. Pam. Puł., 2000, **120**: 421-428.
12. Szczukowski S., Tworkowski J., Wiwat M., Przyborowski J.: Wiklina surowcem przyszłości. Olsztyn, Poradnik ART, 1997, 1-20.
13. Szczukowski S., Tworkowski J.: Produkcja wieloletnich roślin energetycznych w rejonie Warmii i Mazur – stan aktualny i perspektywy. Post. Nauk Rol., 2003, **3**: 75-84.
14. Główny Urząd Statystyczny, Ochrona Środowiska, Warszawa, 2003.
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 roku. Dz. U. nr 134, poz. 1140.

THE YIELD OF BIOMASS AND CONTENT OF NITROGEN IN WILLOW (*SALIX VIMINALIS*)
AT DIFFERENT NITROGEN FERTILIZATION RATE

Summary

The fertilization of *Salix viminalis* by waste activated sludges is recommended in the aspect of natural utilization of waste and delivers to soil considerable amounts of biogenic plants nutrients (mainly nitrogen and phosphorus). The yields of dry matter of two clones of *Salix viminalis* (energetic plant) as well as the nitrogen content and coefficient of nitrogen utilization in dependence on nitrogen rate in waste activated sludges and urea are presented in the paper. The yields of *Salix viminalis* biomass were higher on objects fertilized with waste activated sludges than on control objects. The highest yields were harvested from objects fertilized with waste activated sludges with 200 kg N·ha⁻¹ of nitrogen. The content of nitrogen in the willow branches was not significantly differentiated upon the applied rate of nitrogen. The highest value of the coefficient of nitrogen utilization was stated on the object with 200 kg N·ha⁻¹ of nitrogen applied in waste activated sludges.

Praca wpłynęła do Redakcji 14 VI 2005 r.