



# **Wpływ nawożenia kompostem z osadów komunalnych na jakość gleby lekkiej pod uprawą wierzby wiciowej w czteroletnim cyklu uprawy**

*Leszek Styszko, Diana Fijałkowska, Janusz Dąbrowski*  
*Politechnika Koszalińska*

## **1. Wstęp**

Podstawowym źródłem energii odnawialnej w Polsce nadal jest biomasa. Wykorzystanie słabej jakości gruntów ornych do założenia plantacji wierzby energetycznej, stwarza szansę poprawy bilansu biomasy. W rejonach, gdzie dominują gleby lekkie, nawożenie kompostem z komunalnych osadów ściekowych lub też osadami ściekowymi, może zwiększyć ich produktywność, retencję wody opadowej oraz nasilić proces glebotwórczy (Krzywy i in. 2003). Osady są kłopotliwym odpadem w oczyszczalniach ścieków i są nadal trudne do zagospodarowania (Rosik-Dulewska i in. 2009). Wykorzystanie osadów ściekowych do produkcji kompostu, który następnie będzie zużyty m. in. do nawożenia upraw roślin energetycznych, pozwoli także na aktywne włączenie się do realizacji celów UE w odniesieniu do energetyki. Na glebach marginalnych możliwa jest uprawa roślin lignino-celulozowych przeznaczonych na cele energetyczne, ale plony biomasy w tych warunkach są niskie. Stąd zachodzi potrzeba podniesienia żyzności gleb lekkich przez stosowanie nawożenia organicznego oraz mineralnego. Do uprawy roślin na cele energetyczne można stosować nawożenie osadami ściekowymi i kompostami z osadów komunalnych (Ociepa-Kubicka & Pachura 2013).

Celem pracy była ocena niektórych zmian w jakości gleby lekkiej w warstwie 0-90 cm, pod uprawą wierzby wiciowej (*Salix viminalis*) w 4-letnim cyklu, na skutek zastosowania nawożenia kompostem z osadów komunalnych i nawożenia mineralnego.

## 2. Materiał i metoda

Doświadczenie dwuczynnikowe realizowano metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, w trzech powtórzeniach, w latach 2006–2009 na polu doświadczalnym Politechniki Koszalińskiej w Kościernicy, gmina Polanów (16°24'N i 54°8'E). Doświadczenie założono na glebie lekkiej klasy IVb – V, kompleksu żytniego dobrego, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego do głębokości 100 cm oraz gliny lekkiej poniżej 100 cm. Przed zastosowaniem nawożenia kompostem wiosną 2006 roku pobrano próbki z trzech warstw gleby do głębokości 90 cm, a wyniki tych analiz zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Chemiczne właściwości gleby przed założeniem doświadczenia  
**Table 1.** Chemical properties of the soil before the experiment

Chemiczna właściwość gleby	Jednostka miary	Zawartość w warstwach profilu gleby (cm)				
		0-30	31-60	61-90	suma	średnia
Odczyn gleby	pH	5,08	5,21	5,16	–	5,15
Zawartość próchnicy	%	1,6	–	–	–	–
Zawartość N amonowego	mg·kg <sup>-1</sup> s.m.	0,81	0,59	0,67	2,07	0,69
Zawartość N azotanowego	mg·kg <sup>-1</sup> s.m.	2,13	1,83	2,42	6,38	2,13
Zawartość N mineralnego	mg·kg <sup>-1</sup> s.m.	2,94	2,42	3,09	8,45	2,82
Zawartość N mineralnego	kg N·ha <sup>-1</sup>	12,6	10,4	13,3	36,3	12,1

W doświadczeniu czynnikami I rzędu były cztery kombinacje nawozowe: (a) bez nawożenia, (b) kompost z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s. m.), (c) kompost z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s.m.) i azot mineralny w ilości 90 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz (d) kompost z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s. m.) i azot mineralny w ilości 180 kg N·ha<sup>-1</sup>. Kompost charakte-

ryzował się:  $pH_{KCl} = 6,63$ , zawartość suchej masy – 68,4%, a zawartość w suchej masie wyniosła: materii organicznej – 39,1%, N – 1,8%, P – 1,6%, K – 0,1%, Ca – 3,4% i Mg – 0,3%. Kompost zastosowano wiosną 2006 roku, a nawóz azotowy wysiewano corocznie przed rozpoczęciem wegetacji wierzby w latach 2006-2009. Czynnikiem II rzędu było dziewięć klonów wierzby wiciowej: 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1033 i 1018, które wysadzono w trzech powtórzeniach. Poletko miało powierzchnię 34,5 m<sup>2</sup>, na którym wysadzono 120 zrzesów (34782 zrzesów na hektarze). Przed założeniem doświadczenia oraz corocznie po zakończeniu wegetacji wierzby pobierano z każdego poletka próbki gleby z trzech głębokości: 0-30 cm, 31-60 cm i 61-90 cm. Na bazie tych próbek przygotowano do analiz średnią próbkę z powtórzeń i złożono do zamrażarki (-18°C). W próbkach określono zawartość suchej masy według normy PB-R-0428, próchnicy i węgla organicznego metodą Tiurina, azotu ogólnego metodą Kjeldahla, azotu amonowego, azotanowego i azotu mineralnego według normy PB-R-04028 oraz odczynu gleby według normy PN-ISO 10390. Dane o rozkładzie opadów i temperatur w latach 2006-2009, uzyskano ze stacji meteorologicznej IHAR w Boninie, oddalonej w linii prostej o 10 km od pola doświadczalnego w Kościernicy (Styszko i in. 2010). Dla scharakteryzowania hydrotermicznych warunków wegetacji wierzby posłużono się współczynnikiem Sielianiowa (K) obliczonego z wzoru  $K = P/0,1 \cdot \sum t$  (Molga 1986), gdzie P oznacza miesięczną sumę opadów atmosferycznych w mm, a  $\sum t$  – miesięczną sumę temperatury powietrza  $>0^{\circ}C$ . Hydrotermiczne warunki ekstremalne (skrajnie suche i bardzo suche oraz bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne) oznaczone współczynnikiem Sielianiowa (K) mieszczą się w przedziałach  $< 0,7$  oraz  $> 2,5$  (Skowera & Puła 2004). Warunki skrajnie suche i bardzo suche ( $K < 0,7$ ) wystąpiły w kwietniu 2009 roku, w maju 2008 roku i w lipcu 2006 roku. Natomiast warunki bardzo wilgotne ( $K > 2,5$ ) wystąpiły w kwietniu 2006 i 2008 roku, w czerwcu 2009 roku, w lipcu 2007 roku, w sierpniu 2006 i 2008 roku, we wrześniu 2007 roku i październiku 2009 roku. Dla zebranych empirycznych cech wykonano standardową 3- lub 4-czynnikową analizę wariancji w programie AWA. W opracowaniu statystycznym wyniki klasyfikowano według czynników: A – 4 lata wegetacji wierzby, B – 3 głębokości w profilu glebowym, C – 4 kombinacje nawożenia i D – 9 klonów wierzby wiciowej. Istotność źródeł zmienności testowano testem F, a strukturę komponentów wariancyjnych zestawiono w tabeli 2 (Trętowski & Wójcik 1988).

### 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz dotyczących zawartości próchnicy i węgla organicznego dotyczą warstwy gleby 0-30 cm, a przy pozostałych cechach warstw: 0-30 cm, 31-60 cm i 61-90 cm. Zmienność w doświadczeniu spowodowana działaniem efektów głównych na poziomie ponad 50% zmienności całkowitej była przy zawartości: N ogólnego (72,9%), N azotanowego (61,5%), oraz próchnicy i C organicznego (po 51,9%). Spośród czynników głównych największy efekt wyodrębniono przy oddziaływaniu głębokości w profilu glebowym przy analizach: N ogólnego (63,4%), N mineralnego (37,8%) oraz lat wegetacji wierzby w analizie N azotanowego (37,2%). Spośród interakcji największe znaczenie miały współdziałania: lat wegetacji z głębokością w profilu glebowym przy zawartości azotu amonowego (25,5%) i kombinacji nawożenia z klonami wierzby przy odczynie gleby (14,6%).

**Tabela 2.** Wpływ analizowanych czynników na zmienność cech jakości gleby  
**Table 2.** Effect of studied factors on the variability of soil quality

Komponent wari- ancyjny	Struktura komponentów wariacyjnych [%] w analizach <sup>(1-8)</sup>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Lata wegetacji [A]	46,2 ***	46,2 ***	8,4 ***	7,4 ***	37,2 ***	3,3 ***	3,3 ***	0,9 **
Głębokość w profilu gleby [B]	–	–	63,4 ***	14,6 ***	16,5 ***	37,8 ***	37,8 ***	2,9* **
Kombinacje nawożenia [C]	5,7 **	5,7 **	0,6 ***	0,0	6,9 ***	3,2 ***	3,2 ***	9,8 ***
Klony wierzby [D]	0,0	0,0	0,5 **	1,8 ***	0,9 ***	1,9 ***	1,9 ***	5,7 ***
Efekty główne	51,9	51,9	72,9	23,8	61,5	46,2	46,2	19,3
Interakcja AB	–	–	1,2 ***	25,5 ***	5,6 ***	2,8 ***	2,8 ***	0,1
Interakcja AC	2,0	2,0	1,3 ***	4,0 ***	2,9 ***	1,3 *	1,3 *	7,2 ***
Interakcja AD	0,0	0,0	1,4 **	0,9	0,6	0,7	0,7	4,4 ***

**Tabela 2. cd.**  
**Table 2. cont.**

Komponent wari- ancyjny	Struktura komponentów wariacyjnych [%] w analizach <sup>(1-8)</sup>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Interakcja BC	–	–	0,6 *	2,2 **	6,0 ***	3,4 ***	3,4 ***	1,4 *
Interakcja BD	–	–	0,2	0,9	2,0 ***	1,7 *	1,7 *	3,2 ***
Interakcja CD	1,5	1,5	3,4 ***	2,1 *	2,0 ***	2,8 **	2,8 **	14,6 ***
Pozostałe interakcje	48,4	48,4	19,0	40,6	19,4	41,1	41,1	49,9
Suma	100	100	100	100	100	100	100	100

*Istotność różnic przy poziomie: \* $\alpha = 0,05$ ; \*\* $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* $\alpha = 0,001$*

Analizy <sup>(1-8)</sup>: 1 – zawartość próchnicy; 2 – zawartość C organicznego; 3 – zawartość N ogólnego; 4 – zawartość N amonowego; 5 – zawartość N azotanowego; 6 – zawartość N mineralnego w  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.; 7 – zawartość N mineralnego w  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; 8 – odczyn gleby.

W tabeli 3 zestawiono efekty przeciętne analizowanych czynników. W ciągu 4 lat uprawy w glebie nastąpiła akumulacja próchnicy i węgla organicznego (1,39-krotnie), a spadek zawartości N ogólnego (1,32 krotnie) i odczynu gleby (1,02-krotnie).

Zawartość N ogólnego w wierzchniej warstwie gleby zawierała się w przedziale 0,084-0,094%, wyższa była w kombinacjach nawozowych „c” i „d” roku wegetacji niż w „a” i „b” (tabela 4). Zawartość N amonowego w wierzchniej warstwie gleby zawierała się w przedziale 3,33-4,25  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m, była najwyższa była w kombinacji „b”, niższa w kombinacjach „d” i „c”, a najniższa w na obiektach „a”. Zawartość N azotanowego w wierzchniej warstwie gleby wahała się w przedziale 2,38-4,65  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m, była najwyższa była w kombinacji „d”, niższa w kombinacji „c”, a najniższa w kombinacjach „a” i „b”. Zawartość N mineralnego w wierzchniej warstwie gleby zawierała się w przedziale 5,79-8,14  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m lub 24,9-35,0  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N, była najwyższa była w kombinacji „d”, niższa w kombinacjach „c” i „b”, a najniższa w kombinacjach „a”.

**Tabela 3.** Wpływ analizowanych czynników na jakość gleby  
**Table 3.** Effect of studied factors on the properties of soil quality

Badany czynnik	Poziom czynnika	Analizy chemicznych właściwości gleby <sup>(1-8)</sup>							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		[%]							
Lata wegetacji wierzby [A]	1	1,77	1,03	0,074	1,89	3,90	5,79	24,9	5,13
	2	1,79	1,04	0,052	3,04	1,80	4,84	20,8	5,09
	3	2,38	1,38	0,057	3,51	1,01	4,52	19,4	5,10
	4	2,46	1,43	0,056	2,46	2,84	5,30	22,8	5,04
Głębokość w profilu gleby w cm [B]	NIR <sub>0,05</sub>	0,17***	0,10***	0,003***	0,36***	0,20***	0,41***	1,78***	0,05**
	0-30	-	-	0,088	3,74	3,30	7,04	30,3	5,03
	31-60	-	-	0,058	2,63	2,22	4,85	20,9	5,09
	61-90	-	-	0,034	1,80	1,64	3,44	14,8	5,16
Kombinacje nawożenia [C]	NIR <sub>0,05</sub>	-	-	0,003***	0,31***	0,17***	0,36***	1,54***	0,05***
	„a”	1,94	1,13	00,58	2,62	1,94	4,56	19,6	5,08
	„b”	2,04	1,19	0,058	2,77	2,04	4,81	20,7	5,26
	„c”	2,28	1,32	0,064	2,84	2,44	5,28	22,7	5,01
	„d”	2,14	1,24	0,060	2,67	3,14	5,81	25,0	5,03
	NIR <sub>0,05</sub>	0,17**	0,10**	0,003***	0,36 n.i.	0,20***	0,41***	1,78***	0,05***

<sup>(1-8)</sup>. Oznaczenia analiz właściwości gleby podano w tabeli 2

Istotność różnic: n.i. – brak istotności; \*\* $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* $\alpha = 0,001$

Dla NIR podano wartość liczbową dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$

**Tabela 3. cd.**  
**Table 3. cont.**

Badany czynnik	Poziom czynnik	Analizy chemicznych właściwości gleby <sup>(1-8)</sup>																
		1	2	3	4	5	6	7	8									
		[%]																
					[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]				[kg N·ha <sup>-1</sup> ]									[pH]
	1047	2,05	1,19	0,058	2,55	2,53	5,08	21,8	5,14									
	1054	1,96	1,14	0,061	2,30	2,18	4,48	19,3	5,09									
	1023	2,14	1,24	0,059	2,95	2,18	5,13	22,0	5,11									
	1013	1,97	1,14	0,065	2,89	2,35	5,24	22,5	5,03									
	1052	2,16	1,25	0,061	2,54	2,44	4,98	21,4	5,09									
	1047D	2,20	1,27	0,061	2,22	2,19	4,41	19,0	5,13									
	1056	2,14	1,24	0,056	2,67	2,56	5,23	22,5	4,99									
	1018	2,12	1,23	0,061	3,52	2,24	5,76	24,8	5,28									
	1033	2,17	1,26	0,056	2,88	2,82	5,70	24,5	5,00									
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>0,25 n.i.</b>	<b>0,15 n.i.</b>	<b>0,005***</b>	<b>0,54***</b>	<b>0,30***</b>	<b>0,62***</b>	<b>2,67***</b>	<b>0,08***</b>									
	Średnia	2,10	1,22	0,060	2,72	2,39	5,11	22,0	5,09									

<sup>(1-8)</sup>: Oznaczenia analiz właściwości gleby podano w tabeli 2

Istotność różnic: n.i. – brak istotności; \*\* $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* $\alpha = 0,001$

Dla NIR podano wartość liczbową dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$

**Tabela 4.** Wpływ kombinacji nawozowych na cechy jakości w poziomach profilu gleby  
**Table 4.** Effect of fertilizer combinations on quality properties at levels of the soil profile

Kombinacje nawozowe [C]	Głębokość w profilu gleby [B]	Analizy chemicznych właściwości gleby <sup>(1-8)</sup>					
		3	4	5	6	7	8
		[%]		[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]		[kg N·ha <sup>-1</sup> ]	[pH]
a	0-30 cm	0,084	3,33	2,47	5,79	24,9	4,95
	31-60 cm	0,054	2,74	1,81	4,55	19,6	5,07
	61-90 cm	0,035	1,80	1,53	3,34	14,4	5,21
b	0-30 cm	0,084	4,25	2,38	6,63	28,5	5,25
	31-60 cm	0,056	2,36	2,00	4,36	18,7	5,25
	61-90 cm	0,033	1,70	1,74	3,44	14,8	5,27
c	0-30 cm	0,094	3,90	3,68	7,59	32,6	4,92
	31-60 cm	0,065	3,12	2,30	5,41	23,3	5,04
	61-90 cm	0,033	1,50	1,33	2,83	12,2	5,06
d	0-30 cm	0,090	3,48	4,65	8,14	35,0	4,99
	31-60 cm	0,056	2,32	2,79	5,10	21,9	5,01
	61-90 cm	0,034	2,20	1,97	4,17	17,9	5,08
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		0,006 *	0,06 *	0,35 ***	0,72 ***	3,08 ***	0,09 *

(1-8). Oznaczenia analiz właściwości gleby podano w tabeli 2

Istotność różnic: \* $\alpha = 0,05$ ; \*\* $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* $\alpha = 0,001$

Dla NIR podano wartość liczbową dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$



W tabeli 5 zestawiono wyniki analiz regresji dla niektórych właściwości chemicznych gleby, a przy składnikach równań zaznaczono poziom ich istotności. Utworzone równania regresji najlepiej opisywały zmienność zawartości N ogólnego (69,7%) i N azotanowego (61,5%), wyraźnie słabiej zmienność zawartości próchnicy i C organicznego (po 44,7%), N mineralnego (41,6%), i N amonowego (24,4%), a najmniej przy odczynie gleby (9,8%). Kierunek oddziaływania badanych czynników na skład chemiczny gleby był różny.

Po kolejnych latach wegetacji malała zawartość w glebie azotu ogólnego, azotanowego i mineralnego, a wzrastała zawartość azotu amonowego. Nawożenie wierzby kompostem z osadów komunalnych zwiększało zawartość w glebie próchnicy i węgla organicznego oraz podnosiło odczyn gleby, a nie wpływało istotnie na zawartość mineralnych form azotu. Stosowanie nawożenia wierzby mineralnym nawozem azotowym podnosiło w glebie zawartość azotanów i azotu mineralnego, obniżało odczyn gleby, a nie wpływało na zawartość próchnicy, węgla organicznego, azotu ogólnego i amonowego.

W głębszych warstwach profilu gleby malała zawartość wszystkich form azotu, ale podwyższał się odczyn gleby. Opady w okresie wegetacji wierzby (IV-X) obniżały istotnie zawartość w glebie azotu ogólnego, azotanowego i mineralnego, a podwyższały zawartość azotu amonowego.

W literaturze opracowania dotyczące zmian w jakości gleby przy uprawie wierzby są cząstkowe. Uprawa roślin energetycznych (wierzba, miskant i ślaziowiec pensylwański) wpływa na zmiany zawartości węgla organicznego w glebie, ale kierunek i wielkość tych zmian są zróżnicowane i zależą od wieku plantacji i warunków glebowych (Grabiński i in. 2010a, Matthews & Grogan 2001, Borzęcka-Walker i in. 2008). W pierwszych 2-3 latach uprawy tych roślin następuje zmniejszenie zawartości C organicznego, a w dalszych (lata 5-7) zwiększenie, szczególnie w wierzchniej warstwie gleby (0-10 cm). W badaniach własnych zawartość C organicznego w glebie również podlegała istotnym zmianom w kolejnych sezonach wegetacji, przy czym w 3 i 4 roku od założenia plantacji zaobserwowano wyraźny wzrost tej formy węgla w stosunku do jego ilości w czasie zakładania plantacji.

**Tabela 5.** Analiza regresji właściwości chemicznych gleby  
**Table 5.** Regression analysis of chemical properties of soil

Parametr gleby	Składniki równań regresji										D [%]
	stała	lata	kompost, t·ha <sup>-1</sup>	azot, kg·ha <sup>-1</sup>	głębokość, cm	opad IV-X, mm	wsp. K				
Próchnica [%]	2,789 ***	0,143	0,011 *	0,0010	-	0,008	1,675	44,7 ***			
C organiczny [%]	1,616 ***	0,083	0,06 *	0,0003	-	0,0046	0,972	44,7 ***			
N ogólny [mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]	0,247 ***	-0,025 ***	0,0001	0,0001	-0,001 ***	-0,001 ***	0,287 ***	69,7 ***			
N-NH <sub>4</sub> [mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]	-3,782 *	2,091 ***	0,012	-0,001	-0,032 ***	0,098 ***	-26,22 ***	24,4 ***			
N-NO <sub>3</sub> [mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]	18,761 ***	-3,762 ***	0,004	0,006 ***	-0,028 ***	-0,177 ***	47,094 ***	61,5 ***			
N mineralny [mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]	14,979 ***	-1,671 ***	0,016	0,006 ***	-0,060 ***	-0,078 ***	20,875 ***	41,6 ***			
N mineralny [kg·ha <sup>-1</sup> ]	64,408 ***	-7,187 ***	0,068	0,024 ***	-0,258 ***	-0,337 ***	89,761 ***	41,6 ***			
Odczyn gleby [pH]	5,102 ***	-0,020	0,009 ***	-0,001 ***	0,002 ***	0,0001	-0,099	9,8 ***			

*Istotność współczynników regresji: \* $\alpha = 0,05$ ; \*\* $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* $\alpha = 0,001$*

W literaturze podaje się, że sekwestracja węgla w wierzchniej warstwie gleby przy uprawie wierzby wynosi od  $0,30 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Borzęcka i in. 2008) do  $0,41 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Mattews & Grogan 2001). Potwierdzono dane w literatury, że więcej C organicznego w glebie było po 3 i 4 niż po 1 i 2 roku uprawy. Te same zależności miały miejsce przy zawartości próchnicy w glebie. Na znaczenie próchnicy w kształtowaniu jakości gleby zwraca uwagę Pałosz (2009). Gleby zawierają przeważnie nieduże ilości azotu ogólnego  $0,02\text{-}0,35\%$ , głównie w formie organicznej, a tylko  $1\text{-}5\%$  azotu glebowego występuje w formie mineralnej. W badaniach Grabińskiego i in. (2010b), przeciętnie z pięciu grup granulometrycznych gleb w warstwie  $0\text{-}90 \text{ cm}$  było po zakończeniu vegetacji wierzby azotu amonowego –  $23,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  i azotanowego –  $47,1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , czyli łącznie azotu mineralnego –  $71,0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Na uprawach tych stosowano co 2 lub 3 lata skomasowaną dawkę azotu  $160$  lub  $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  po zbiorze wierzby. W badaniach własnych nawożenie azotem stosowano corocznie wiosną przed ruszeniem vegetacji w dawkach  $90$  i  $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Przy takim systemie nawożenia pozostałości azotu mineralnego jesienią w glebie wyniosły przeciętnie przy dawce  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  –  $22,7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a przy dawce  $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  –  $25,0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Są to ilości bardzo małe i dlatego przy uprawie wierzby krzewiastej jest znikoma obawa o niebezpieczeństwo strat azotu mineralnego do środowiska (Obarska-Pempkowiak & Kołecka 2005). W badaniach własnych oraz Grabińskiego i in. (2010c), gleby miały odczyn kwaśny, a pH było wyższe w głębszych warstwach profilu niż w warstwie  $0\text{-}30 \text{ cm}$ .

#### 4. Wnioski

1. Po kolejnych sezonach vegetacji wierzby malała zawartość w glebie azotu ogólnego, azotanowego i mineralnego, a wzrastała zawartość azotu amonowego, węgla organicznego i próchnicy.
2. Nawożenie wierzby kompostem z osadów komunalnych zwiększało zawartość w glebie próchnicy i węgla organicznego oraz podnosiło odczyn gleby, a nie wpływało na zawartość mineralnych form azotu.
3. Stosowanie mineralnego nawożenia azotowego pod wierzbę energetyczną zwiększało w glebie zawartość azotanów i azotu mineralnego, obniżało odczyn gleby, a nie wpływało na zawartość próchnicy, węgla organicznego, azotu ogólnego i amonowego.

Powyższa praca była finansowana przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy.

## Literatura

- Borzęcka-Walker, M., Faber, A., Borek, R. (2008). Evaluation of carbon sequestration in energetic crops (*Miscanthus* and coppice willow). *Inst. Agrophysics*, 22, 185-190.
- Grabiński, J., Nieróbca, P., Szeleźniak E. (2010a). Wpływ uprawy roślin energetycznych na zawartość węgla organicznego w glebie. *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Falenty-Warszawa Wydawnictwo IT-P, 22-32.
- Grabiński, J., Nieróbca, P., Szeleźniak E. (2010b). Zawartość azotu mineralnego w glebie na plantacjach roślin energetycznych. *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Falenty-Warszawa Wydawnictwo IT-P, 33-32.
- Grabiński, J., Nieróbca, P., Szeleźniak E. (2010c). Zmiany właściwości chemicznych gleby na plantacjach roślin energetycznych. *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Falenty-Warszawa Wydawnictwo IT-P, 47-56.
- Krzywy, E., Iżewska, A., Jeżowski, S. (2003) Wpływ komunalnego osadu ściekowego na zmiany niektórych wskaźników żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 494, 215-223.
- Matthews, R.B., Grogan, P. (2001). Potential C-sequestration rates under short-rotation coppiced willow and *Miscanthus* biomass crop: a modeling study. *Aspects of Applied Biology*, 65, 303-312.
- Molga, M. *Meteorologia rolnicza*. PWRiL Warszawa, 1986.
- Obarska-Pempkowiak, H., Kołecka, K. (2005). Doświadczenia związane z wykorzystaniem wikliny *Salix viminalis* w usuwaniu zanieczyszczeń z wód i ścieków. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 7, 56-69.
- Ociepa-Kubicka, A., Pachura, P. (2013). Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślázowca. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 2267-2278.
- Pałosz, T. (2009). Rolnicze i środowiskowe znaczenie bilansu próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 329-338.
- Rosik-Dulewska, Cz., Karwaczyńska, U., Ciesielczuk, T., Głowala, K. (2009). Możliwości nieprzemysłowego wykorzystania odpadów z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11(2), 863-874.

- Skowera, B., Puła, J. 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agrophysica* 3(1), 171-177.
- Styszko, L., Fijałkowska, D., Sztyrna, M., Ignatowicz, M. (2010). Wpływ warunków uprawy na pozyskanie biomasy wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 12, 575-586.
- Trętowski, J., Wójcik, A.R. (1988). *Metodyka doświadczeń rolniczych*. Wydawnictwo WSRP, Siedlce.

## **The Effect of Fertilization with Compost from Municipal Sewage Sludge on the Quality of Light Soil under Cultivation of Coppice Willow during Four-year Cycle**

### **Abstract**

The aim of the study was to evaluate selected changes of the quality of light soil in a layer of 0-90 cm, under cultivation of willow coppice (*Salix viminalis*) in the 4-year cycle, due to fertilization with compost from municipal sewage sludge and mineral fertilizers. The experiment was carried out in 2006-2009 on the experimental field of Koszalin University of Technology in Kościernica, Polanów municipality (16°24'N and 54°8'E). The experiment was established on light soil of class IVb-V, of good rye complex, and granulometric composition of light loamy sand to a depth of 100 cm and light loam below 100 cm.

The experiment factors were: fertilization (I) – (a) objects without fertilization, (b) fertilized with compost from municipal sewage sludge (10 t·ha<sup>-1</sup> d.m.), (c) fertilized with compost from municipal sewage sludge (10 t·ha<sup>-1</sup> d.m.) and mineral nitrogen in the amount of 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, and (d) fertilized with compost from municipal sewage sludge (10 t·ha<sup>-1</sup> d.m.) and mineral nitrogen in the amount of 180 kg N·ha<sup>-1</sup> and clones of willow (II) – 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1033 and 1018. Compost characterized by: pH<sub>KCl</sub> – 6.63, dry mass content – 68.42%, and content in dry mass was as follows: organic matter – 39.06%, N – 1.75%, P – 1.60%, K – 0.112%, Ca – 3,426% and Mg – 0.325%. Compost was applied in the spring of 2006, and nitrogen fertilizer was applied each year before start of vegetation of willow in the years 2006-2009. The field area was 34.5 m<sup>2</sup>, it was planted 120 cuttings (34782) pieces·ha<sup>-1</sup>. Each year, after vegetation period of willow soil samples were taken from each plot from three depths: 0-30 cm, 31-60 cm, 61-90 cm. Analysis of soil after first (2006), second (2007), third (2008) and fourth year (2009) the willow vegetation periods included assessment of the content of dry matter, humus and organic carbon, total, ammonium, nitrate and mineral nitrogen and soil pH. Studies

show that during years of shoots regrowth of willow content of total, nitrate and mineral nitrogen decreased in soil and content of ammonium nitrogen, organic carbon and humus increased. Fertilization of willow with compost from municipal sewage sludge caused increase of the content of humus and organic carbon in soil and raised soil pH. It did not affect the content of mineral nitrogen forms. Fertilization of willow with mineral nitrogen caused increase of nitrate and mineral nitrogen content in the soil, and decrease of soil pH, and did not affect the content of humus, organic carbon, total and ammonium nitrogen.

## Streszczenie

Celem pracy była ocena niektórych zmian w jakości gleby lekkiej w warstwie 0-90 cm, pod uprawą wierzby wiciowej (*Salix viminalis*) w 4-letnim cyklu, na skutek zastosowania nawożenia kompostem z osadów komunalnych i nawożenia mineralnego. Doświadczenie realizowano w latach 2006-2009 na polu doświadczalnym Politechniki Koszalińskiej w Kościernicy, gmina Polanów (16°24'N i 54°8'E). Doświadczenie założono na glebie lekkiej klasy IVb – V, kompleksu żytniego dobrego, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego do głębokości 100 cm oraz gliny lekkiej poniżej 100 cm.

Czynnikami doświadczenia były: nawożenie (I) – (a) objekty bez nawożenia, (b) nawożone kompostem z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s. m.), (c) nawożone kompostem z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s. m.) i azotem mineralnym w ilości 90 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz (d) nawożone kompostem z osadów komunalnych (10 t·ha<sup>-1</sup> s. m.) i azotem mineralnym w ilości 180 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz klony wierzby wiciowej (II) – 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1033 i 1018. Kompost charakteryzował się: pH<sub>KCl</sub> – 6,63, zawartość suchej masy – 68,42%, a zawartość w suchej masie wyniosła: materii organicznej – 39,06%, N – 1,75%, P – 1,60%, K – 0,112%, Ca – 3,426% i Mg – 0,325%. Kompost zastosowano wiosną 2006 roku, a nawóz azotowy wysiewano corocznie przed ruszeniem vegetacji wierzby w latach 2006-2009. Poletko miało powierzchnię 34,5 m<sup>2</sup>, na którym wysadzono 120 zrzechów (34782 sztuk·ha<sup>-1</sup>). Corocznie po zakończeniu vegetacji wierzby pobierano z każdego poletka próby gleby z trzech głębokości: 0-30 cm, 31-60 cm i 61-90 cm. Analiza gleby po zakończeniu vegetacji wierzby po pierwszym (2006 r.), po drugim (2007 r.), po trzecim (2008 r.) oraz po czwartym roku (2009) obejmowała ocenę na zawartość: suchej masy, próchnicy i węgla organicznego, azotu ogólnego, amonowego, azotanowego i mineralnego oraz odczynu gleby. Badania wykazały, w miarę upływu lat odstania pędów wierzby malała zawartość w glebie azotu ogólnego, azotanowego i mineralnego, a wzrastała zawartość azotu amonowego, węgla organicznego i próchnicy. Nawożenie wierzby kompostem z osadów komunalnych zwiększało zawartość w glebie próchnicy i węgla organicznego oraz pod-

nosiło odczyn gleby, a nie wpływało na zawartość mineralnych form azotu. Stosowanie mineralnego nawożenia azotowego uprawy wierzby energetycznej podnosiło w glebie zawartość azotanów i azotu mineralnego, obniżało odczyn gleby, a nie wpływało na zawartość próchnicy, węgla organicznego, azotu ogólnego i amonowego.

**Słowa kluczowe:**

gleba, wierzba, nawożenie, kompost, zawartość w glebie: próchnicy, C org., N ogólny, N amonowy, N azotanowy, N mineralny, odczyn gleby

**Keywords:**

soil, willow, fertilization, compost, content in the soil of: humus, C org., total N, ammonium N, nitrate N, mineral N, soil pH